

TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan osasto
Talonrakennustekniikka

MIKKO MIETTINEN

MUOTTIVANERIEEN TAIPUMIEN KASVU TOISTUVISSA
VALUISSA

*Diplomityö, joka on opinnäytteenä
jätetty tarkastettavaksi diplomi-
insinöörin tutkintoa varten
Espoossa 28.02.1997*

Työn valvoja: Prof. Pekka Kanerva

Työn ohjaaja: TkL Simo Koponen

Tekijä ja työn nimi: Mikko Miettinen	
Muottivanerien taipumien kasvu toistuvissa valuissa	
Päivämäärä:	28.02.1997
Sivumäärä:	124
Osasto:	Professuuri: Rak-43
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan osasto	Talonrakennustekniikka
Työn valvoja:	Professori Pekka Kanerva
Työn ohjaaja:	Tekniikan lisensiaatti Simo Koponen
<p>Muottivanereiden valukertojen määrä vaihtelee yhdestä yli sataan valuun vanerilaadusta ja betonipinnan vaatimuksista riippuen. Pinnoittamaton vaneri kestää vain muutamia valuja. Vanerin kestävyyttä voidaan parantaa pinnoituksella. Eniten käytetään filmipinnoitettua vaneria, jota voidaan käyttää suurmuoteissa vähintään 20-30 kertaa. Elementtitehtaissa käytettävät super vanerit kestävät yli sata valukertaa oikein käytettynä.</p> <p>Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia muottivanerin ominaisuuksien muuttumista toistuvissa valuissa ja selvittää niitä tekijöitä, jotka aiheuttavat ominaisuuksien huononemista. Tavoitteena oli myös valukertojen määrän arviointi, siten että taipumat eivät kasva liian suuriksi.</p> <p>Todellisissa valuolosuhteissa on vaikea tehdä toistuvia kokeita käyttäen betonimassaa, joten kokeet suoritettiin simuloimalla valuolosuhteita. Työn osatavoitteena oli valukokeissa käytettävän simulointilaitteiston kehittäminen ja sen soveltuvuuden testaus. Kokeissa haluttu paine saatiin hydrostaattisella vedenpaineella. Kokeita suoritettiin arkipäivisin (5 vrk). Yön ajan ja viikonloppuisin (2 vrk) koekappaleet olivat lepotilassa ja saivat kuivua. Kuormituskokeissa seurattiin vanereiden taipumien ja kosteuden muuttumista 40 °C lämpötilassa ja 34 kN/m² tai 40 kN/m² valupaineessa. Kokeissa käytettiin koivu-, seka- ja havuvanereita ilman pinnoitusta sekä filmipintaista koivuvaneria. Valukertojen määrä vaihteli eri koesarjoilla viidestätoista kahteenkymmeneen viiteen valuun.</p> <p>Tutkimuksessa todettiin vanerilaadulla olevan merkitystä vanerin käyttökertojen määrään muotissa. Havuvanereiden taipumien kasvu oli noin kaksinkertainen koivuvanereihin verrattuna. Kokeissa todettiin kosteuden vaikutus muottivanerin ominaisuuksien muuttumiseen. Kosteuden imeytymiseen voidaan vaikuttaa vanerin pinnoituksella. Tutkimuksen perusteella voidaan sanoa, että muottivanerin pinnan laadulla on suuri merkitys vanereiden valuominaisuuksien säilymisessä.</p> <p>Pintaviilujen syiden suunnan merkitys vaihteli eri vanerilaaduilla. Koivu- ja sekavanereilla taipumat pintaviilujen syiden suuntaan kuormitetuilla koekappaleilla oli pienempi kuin pintaviilujen syiden suuntaa vastaan kuormitetuilla näytteillä. Havuvanereilla taas pintaviilujen syiden suuntaa vastaan kuormitettujen näytteiden taipumat olivat pienemmät.</p> <p>Parhaimmaksi vanerilaaduksi tässä tutkimuksessa osoittautui koivuvaneri, jota kuormitetaan pintaviilujen syyt jännevälin suuntaisesti. Seuraavaksi parhaat ominaisuudet olivat sekavanerilla. Havuvanerilla taipumat kasvoivat suurimmiksi.</p> <p>Koelaitteiston suurin ongelma oli vanerien kosteustaso. Nyt suoritetuissa valukokeissa kosteuspitoisuus nousi noin 16 %:iin, kun todellisissa valuissa kosteus nousee yli 20 %:n.</p> <p>Avainsanat: betoni, kosteus, muotti, paine, taipuma, valu, vaneri</p>	

Author and the name of the thesis: Mikko Miettinen

Bends increasing of mould plywoods in the repeated castings

Date: 28.02.1997 **Number of pages:** 124

Faculty:

Faculty of Civil and Environmental Engineering

Professorship: Rak-43

Structural Engineering and
Building Physics

Supervisor: Professor Pekka Kanerva

Instructor: Lic.Tech. Simo Koponen

The number of the concrete castings of mould plywood varies from one to over hundred depending on the quality of plywood and requirements of the concrete surface. Plywood without coating can last only a few castings. Strength of the plywood can be improved by coating. Most are used a film coated plywoods, which can be used 20-30 times in the large formwork systems. Super plywood can be used over one hundred castings in the the fabrication factory.

The aim of this thesis is to study mould plywood in the repeated castings and find out the factors affecting deterioration of the quality. The aim was also to estimate the number of castings, so that a required sufficient surface quality can be obtained.

Due to the difficulties to do repeated castings in the real conditions, experiments were made by simulating the real casting conditions. Partial purpose of the work was to develop simulation apparatus for castings experiments and making aptitude test. Experiments were made by testing apparatus, where the pressure was obtained by the hydrostatic water pressure. Experiments were made using one week cycles, on workdays samples were loaded about 4,5 h. During the nights and weekends(2 days) samples were at rest condition and get dry. During the load tests plywood deflection and moisture difference were measured at 40 °C and at casting pressure 34 kN/m² or 40 kN/m². Birch, combi and spruce plywood without coating and also birch plywood with film coating were tested. The number of the castings were varied between 15-25 depending on test series.

In this research it was found, that there was correlation between plywoods and the number of castings that used in the test series. Change of the moisture affect properties of plywood. The absorption of the moisture could be influenced by coating. Quality of the surface of plywood has significant meaning on holding validity properties. In the test apparatus the increase of moisture content was slower than in previous studies. In these test series moisture of plywood was about 16 %, when in the real castings conditions moisture level of plywood can increase over 20 %.

The effect of the direction of the face veneer varies between the different plywoods. Birch and combi plywood has smaller deflection when specimens were loaded in the face veneer direction. On the other hand spruce plywood has smaller deflection when the specimen is loaded crosswise.

According to the research, birch plywood loaded in the face veneer direction has the best properties. Next best properties has combi plywood, meanwhile spruce plywood has the biggest deflection.

Keywords: castings, concrete, deflection, moisture, mould, plywood, pressure


ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Teknillisen korkeakoulun Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan osastolla Rakennetekniikan laitoksella. Työ on osa TEKES:in, Schauman Wood Oy:n ja Finnforest Oy:n rahoittamaa tutkimusta "Kerroksellisten komposiittilevyjen mekaanisten ja kosteusteknisten ominaisuuksien mallittaminen".

Työn valvojana toimi professori Pekka Kanerva, josta esitän hänellä kiitokset. Työn ohjaajana toimi tekniikan lisensiaatti Simo Koponen. Häntä kiitän lukuisista ohjeista ja neuvoista joita sain työn tekemisen aikana.

Lisäksi kiitän DI Erkki Kiiraa ja DI Ismo Saavalaista avusta, jota sain kokeiden suunnittelussa ja teossa. Lauri Sipilälle esitän kiitokset avustamisesta koelaitteiston rakentamisessa ja koekappaleiden valmistamisesta. Veikko Halttuselle esitän kiitokset avusta, jota sain mittausjärjestelyiden valmistelussa. Kranaatinheitinkomppaniaa kiitän myönteisestä suhtautumisesta palvelusvapaa-anomuksiin.

Espoo
28. helmikuuta 1997


Mikko Miettinen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT.....	3
ALKUSANAT.....	4
KÄYTETYT MERKINNÄT.....	9
1 JOHDANTO	10
1.1 TAUSTA	10
1.2 TAVOITE.....	10
1.3 RAJAUS.....	11
2 VANERILEVYT	12
2.1 TAUSTAA	12
2.2 VANERIEN PÄÄRYHMÄT	12
2.3 VANERIN VALMISTUS	14
2.4 VANERILEVYJEN MITAT.....	15
2.5 VANERIN OMINAISUUDET.....	16
2.6 VANERIN KÄYTTÖ.....	23
3 MUOTIT	24
3.1 MUOTEILLE ASETETTAVAT VAATIMUKSET	24
3.2 MUOTTIEN MATERIAALIT	24
3.3 MUOTTIVANERIT	25
3.4 MUOTTIEN TUKIRAKENTEET	25
3.5 VALUN AIHEUTTAMAT RASITUKSET.....	25
3.5.1 Valupaineen merkitys	25
3.5.2 Valupaineen jakautuminen	26
4 AIKAISEMMIN SUORITETUT TUTKIMUKSET.....	28
4.1 TOISTUVAN KÄYTÖN VAIKUTUS MUOTTIVANERIEN OMINAISUUKSIIN.....	28
4.1.1 Valukokeet.....	28
4.1.2 Kosteuden muuttuminen valukokeessa	30
4.1.3 Kosteuden muuttuminen kosteuskokeessa	30
4.1.4 Lämpötilakoe	31
4.1.5 Alkalisuuskoe	31
4.1.6 Tulosten arviointi.....	32
4.2 FILMIPINTAISEN VANERIN KOSTUMINEN.....	33
4.2.1 Tutkimuksen suoritus	33
4.2.2 Koelevyjen kostuminen kymmenprosenttisessa sementtivesiliuoksessa.....	33
4.2.3 Koelevyjen kostuminen vesiliotuksessa	33

5	KOEJÄRJESTELYT	34
5.1	KOESTUSLAITE.....	34
5.2	KOELAITTEISTON TOIMINTA.....	35
5.2.1	Vedenpaine	35
5.2.2	Lämmitys	36
5.2.3	Kostutuksen järjestäminen.....	36
5.2.4	Koekappaleiden kiinnittäminen.....	36
5.2.5	Taipumien mittaus	36
6	KOEMATERIAALIT	37
6.1	YLEISTÄ	37
6.2	ESIKOKEET	37
6.2.1	Koivuvaneri 15 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaan	37
6.2.2	Havuvaneri 18 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaan	38
6.3	ENSIMMÄINEN KOESARJA	39
6.3.1	Koivuvaneri 20 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaan	39
6.3.2	Filmipintainen koivuvaneri 24 mm, pintaviilujen syyt jänneväliä vastaan.....	40
6.4	TOINEN KOESARJA.....	41
6.4.1	Filmipintainen koivuvaneri 24 mm, vanerin pintaan sahattu uria.....	41
6.4.2	Filmipintainen koivuvaneri 24 mm, vaneriin porattu reikiä	42
6.5	KOLMAS KOESARJA.....	42
6.5.1	Koivuvaneri 18 mm	43
6.5.1	Havuvaneri 18 mm	44
6.2.1	Sekavaneri 18 mm	45
6.6	VEDENIMUKOKEISSA KÄYTETYT VANERIT	46
7	VANERIEN TESTAUS.....	47
7.1	VALUA JÄLJITTELEVÄ KOE	47
7.1.1	Taipumien mittaus	48
7.1.2	Painon muutokset	49
7.1.3	Muut mittaukset.....	49
7.2	VEDENIMUKOKEET	49

8	SAADUT TULOKSET.....	51
8.1	ESIKOKEET.....	51
8.1.1	Koivuvaneri 15 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaan.....	51
8.1.2	Havuvaneri 18 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaan.....	53
8.1.3	Esikokeiden tulosten arviointi	56
8.2	ENSIMMÄINEN KOESARJA	56
8.2.1	Koivuvaneri 20 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaan.....	57
8.2.2	Koivuvaneri 24 mm, pintaviilujen syyt jänneväliä vastaan	61
8.3	TOINEN KOESARJA.....	63
8.3.1	Filmipintainen koivuvaneri 24 mm, vanerin pintaan sahattu uria.....	64
8.3.2	Filmipintainen koivuvaneri 24 mm, vaneriin porattu reikiä	67
8.4	KOLMAS KOESARJA.....	71
8.4.1	Koivuvaneri 18 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaan.....	72
8.4.2	Koivuvaneri 18 mm, pintaviilujen syyt jänneväliä vastaan	75
8.4.3	Havuvaneri 18 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaan.....	79
8.4.4	Havuvaneri 18 mm, pintaviilujen syyt jänneväliä vastaan	83
8.4.5	Sekavaneri 18 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaan.....	87
8.4.6	Sekavaneri 18 mm, pintaviilujen syyt jänneväliä vastaan	91
8.5	VEDENIMUKOKEIDEN TULOKSET.....	95
8.5.1	Hiertämisen vaikutus vanerin vedenimukykyyn	95
8.5.2	Rikkonaisen pinnan vaikutus vanerin veden- imukykyyn	96

9	TULOSTEN ANALYSOINTI.....	98
9.1	TUTKITUN VANERIN OMINAISUUDET.....	98
9.2	VALUA JÄLJITTELEVÄT KOKEET	99
9.2.1	Taipumat.....	99
9.2.2	Kosteus	110
9.2.3	Kosteuden vaikutus taipumiin	111
9.3	VEDENIMUKOKEET.....	116
10	PÄÄTELMÄT	117
11	EHDOTUKSIA JATKOTUTKIMUKSIKSI	120
12	YHTEENVETO.....	121
	KIRJALLISUUTTA.....	124

MERKINNÄT

A_{ij}, D_{ij}	jäykkyysvakioita
b	leveys
e_{11}	kimmokerroin x-akselin suunnassa
e_{22}	kimmokerroin y-akselin suunnassa
e_{12}	suppeumaluvulla kerrottu kimmokerroin
e_{33}	liukukerroin
h	korkeus
l	jänneväli
m_0	kappaleen massa kuivana
m_u	kappaleen massa kosteana
M_x, M_y, M_{xy}	x- ja y-akselin ympäri vaikuttavat taivutusmomentit ja vääntömomentti
N_x, N_y, N_{xy}	vanerilaatan x- ja y-akselin suuntaiset ja xy-tasossa vaikuttavat voimat leveysyksikköä kohden
p	valupaine
t_i	viilun paksuus
u	kappaleen kosteusprosentti
V_u	kappaleen tilavuus säilytyskosteudessa
ϵ_x, ϵ_y	muodonmuutokset x- ja y-akselin suunnissa
ρ	kappaleen tiheys tai veden tilavuuspaino
σ_x, σ_y	jännitykset x- ja y-akselin suunnissa
τ_{xy}	leikkausjännitys
\varnothing	halkaisija

1 JOHDANTO

1.1 TAUSTA

Rakennusteollisuus on suurin vanerin käyttäjä 60 %:n osuudella. Vanerin käyttö jakaantuu rakennusteollisuudessa rakennusaikaiseen ja rakenteelliseen käyttöön. Rakennusaikainen vanerin käyttö on huomattavasti suurempaa kuin rakenteellinen käyttö. Huomattava osa vanerista kuluu betonointitöissä muottilevyinä. Yksinkertaisin muottilevy on muottiöljytty perusvaneri, jota käytetään kohteissa, joissa betonipinnan laadulla ei ole merkitystä, tai jos levyllä valetaan vain muutamia kertoja. Yleisimmin käytetty muottilevy on filmipintainen valutöihin kehitetty vaneri. Siinä peruslevy pinnoitetaan molemmilta puolilta fenolifilmillä (n. 120 g/m²).

Muotin tulee kestää siihen kohdistuvat rasitukset. Taipumat muodostuvat yleensä mitoittaviksi. Muotin osat on suunniteltava niin, että taipumat eivät kasva asetettujen rajojen yli. Muottipinnan on kestävä mekaanisia rasituksia vastaan. Muottilevyjen ja tukirakenteiden on oltava niin vahvat, että betonirakenteiden lopulliset mitat ovat sallittujen toleranssien sisällä.

Muottirakenne pyritään saamaan mahdollisimman edulliseksi. Tähän vaikuttaa kestävyys valupainetta, lämmitystä, kulumista ja säätä vastaan. Betoni ja sää vaikuttaa muotin kosteuteen. Valun aikana muotin sisäpinnassa on 100 %:n kosteus. Lämpötilan vaihtelut aiheuttavat muottiin rasitusta. Betoni lämpenee kovettuessaan ja lämmittää muottia. Betonin sitoutuessa lämpötila voi nousta 40 °C:een. Talvibetonoinnissa muottia joudutaan lämmittämään, jolloin lämpötila betonissa ja betonin sisäpinnassa voi olla jopa 80 °C.

1.2 TAVOITE

Työn tavoitteena on muottivanerin taipumien kasvun selvittäminen toistuvissa valuissa. Työssä pyritään eri vanerilaatujen ominaisuuksien vertailemiseen, taipumien kasvun perusteella. Kokeiden lähtökohtana oli 40 kPa tasainen kuormitus, ja valuolosuhteita vastaavat kosteus- ja lämpötilaolosuhteet. Tämän työn tavoitteena oli kehittää koelaite, jolla voidaan tutkia toistuvan käytön vaikutusta muottivanerien ominaisuuksiin. Vaatimuksena oli mahdollisuus toistuvien valujen simuloimiseen.

1.3 RAJAUS

Käytössä olevien resurssien takia betonin aiheuttama valupaine korvattiin yhtä suurella hydrostaattisella veden paineella. Tutkimuksessa ei ole otettu huomioon pinnan laadun vaikutusta, johon vaikuttaa vanerien puhdistus ja muu käsittely. Betonissa olevien alkaalejen vaikutusta ei otettu huomioon.

Kokeissa käytetyt vanerit olivat 18 mm:n ja 20 mm:n koivuvaneri, 18 mm:n havuvaneri ja 18 mm:n combivaneri, jotka olivat pinnoittamattomia sekä 24 mm:n filmipintainen koivuvaneri. Tutkittavia vanereita kuormitettiin viidestätoista kahteenkymmeneen viiteen sykliä.

2 VANERILEVYT

2.1 TAUSTAA

Vanerin valmistuksessa on Suomessa aikaisemmin käytetty koivua. 1960-luvulla koivuvarojemme vähentyessä jouduttiin etsimään lisäraaka-ainetta havupuusta. Havupuusta valmistetaan havupuuvaneria ja sekavaneria. Havupuuviilut ovat yleensä kuus-
ta. Mäntyviiluja käytetään havupuuvanerissa pintaviiluina, kun tarvitaan oksatonta pintaa, sillä suomalainen kuusi on tähän tarkoitukseen liian oksaista. Vähentyneiden rauduskoivuvarojen seurauksena koivuvanerin osuus on pudonnut noin kahteenkymmeneen prosenttiin. Eniten käytetään nykyään sekavaneria, jonka osuus on noin kuusikymmentä prosenttia vanerituotannosta.

Vanereiden lujuusarvoja annettu SFS-standardeissa /13/ /14/ /15/, kirjassa Handbook of Finnish Plywood /2/ ja kirjassa RIL 120 Puurakenteiden suunnitteluohjeet /11/. SFS-standardeissa lujuusarvot on annettu 15 %:n kosteudessa ja Handbook of Finnish Plywood kirjassa on annettu lujuusarvoja 15 %:n ja 26 % prosentin kosteudessa. Puurakenteiden suunnitteluohjeissa suunnitteluarvot on annettu kosteusluokissa 1 (12%), 2 (18%) ja 3 (26%).

2.2 VANERIEN PÄÄRYHMÄT

Vanerit jaetaan valmistuksessa käytettyjen viilujen materiaalin mukaan kolmeen pääryhmään: koivuvaneriksi, sekavaneriksi ja havuvaneriksi.

Koivuvanerin valmistuksessa käytetään raaka-aineena rauduskoivua. Standardisoidun koivuvanerin valmistuksessa käytetään vain yhtä viilupaksuutta, joka valmiista vanerista mitattuna on noin $t_1 = 1,4$ mm. Hiottun pintaviilun paksuus on noin 1,2 mm. Sorvauksen jälkeen, märkänä mitatun viilun paksuus on noin 1,5 mm. Koivuvanerin rakenne muodostuu ristiinliimatuista viiluista siten, että kokonaisviiluluku on pariton /3/.

Taulukko 2.1. Standardisoidun koivuvanerin rakenne /3/.

Vanerin paksuus mm	Rakenne 1 = 1,4 mm:n koivuviilu - = 1,4 mm:n koivuviilu	kerros luku ply
4	1-1	3
6½	1-1-1	5
9	1-1-1-1	7
12	1-1-1-1-1	9
15	1-1-1-1-1-1	11
18	1-1-1-1-1-1-1	13
20	1-1-1-1-1-1-1-1	15
23	1-1-1-1-1-1-1-1-1	17
26	1-1-1-1-1-1-1-1-1-1	19
29	1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1	21

Sekavanerissa pintaviiluina on koivuviilu ja sisäviiluina vuorottelevat koivu- ja havupuuviilut.

Taulukko 2.2. Sekavanerin tavallinen rakenne /3/.

Vanerin paksuus mm	kerros- luku ply	combi
6½	5	1-11-1
9	7	1-11-11-1
12	9	1-11-11-11-1
15	11	1-11-11-11-11-1
18	13	1-11-11-11-11-11-1

- = 1,4 mm:n koivuviilu
1= 1,4 mm:n koivuviilu
11= 1,4 mm:n havupuuviilu

Standardisoidussa sekavanerissa (combi) on pintaviilut ja kaikki pintaviiluja vastaan kohtisuorassa olevat viilut koivua ja kaikki pintaviilujen suuntaiset sisäviilut havupuuta. Sekavanerin lujuus- ja jäykkyysarvoihin voidaan vaikuttaa muuttamalla havupuuviilujen paksuutta.

Havupuuvanereiden valmistuksessa käytetään kuivapaksuudeltaan 1,4 mm, 1,85 mm, 2,1 mm, 2,5 mm ja 2,8 mm havupuuviiluja. Viilujen paksuuksia muuttamalla voidaan säädellä normaalin ristiinliimatunkin vanerin lujuusarvoja toivottuun suuntaan /3/.

Taulukko 2.3. Ohutviiluisen (1,4 mm) havupuuvanerin rakenne /12/.

Rakenne	Nimellispaksuus mm
11-11-11	6,5
11-11-11-11	9
11-11-11-11-11	12
11-11-11-11-11-11	15
11-11-11-11-11-11-11	18
11-11-11-11-11-11-11-11	21(20)
11-11-11-11-11-11-11-11-11	24(23)
11-11-11-11-11-11-11-11-11-11	27(26)
11-11-11-11-11-11-11-11-11-11-11	30(29)

- = 1,4 mm:n havu
11 = 1,4 mm havupuuviilu

2.3 VANERIN VALMISTUS

Viilut valmistetaan puupölleistä sahaamalla, leikkaamalla tai sorvaamalla. Ylivoimaisesti eniten käytetty menetelmä on viilujen sorvaaminen. Sorvauksessa puupölliä pyöritetään karojen avulla leikkuuterää vasten, jolloin terä sorvaa puusta leveän viilumaton. Viilumatot kuivataan ja leikataan arkeiksi. Viilujen yhteenliimaus tapahtuu suuren puristuspaineen ja korkean lämpötilan avulla

Vanerin rakenne pyritään saamaan keskitason suhteen symmetriseksi, joten pintaviilujen syiden suunta on sama, ja viilun tiiviimpi puoli on ulospäin. Kosteusvaihtelut saavat aikaan vanerin elämistä, joista epäsymmetrisissä viilurakenteissa aiheutuu käyristymistä.

Suomalaiset vanerit jaetaan liimauksen mukaan kahteen pääryhmään, joita kutsutaan nimillä exterior ja interior. Exterior tarkoittaa säänkestävää liimausta, jonka ansiosta tällaisia levyjä voidaan käyttää ulkona. Interior liimoja voidaan käyttää vain sisätiloissa. Tätä liimaa valmistetaan huonekaluteollisuuden käyttöön. Säänkestävänä liimana käytetään fenolihartsiliimoja. Näiden liimojen on kestävä säänvaihteluita, mikro-organismeja, veden ja kuumuuden vaikutuksia.

2.4 VANERILEVYJEN MITAT

Mittoja ilmoitettaessa levyn pituudella tarkoitetaan syiden suuntaisen levyn mittaa, ja leveydellä levyn pituutta vastaan kohtisuoraa mittaa. Levyn mitat ilmoitetaan tulona esim. 1200 mm * 2400 mm, jossa ensiksi mainittu mitta (1200 mm) ilmaisee levyn pituuden ja toinen mitta (2400 mm) leveyden. Tämä on tärkeää muistaa vanerirakenteiden suunnittelussa.

Levyjen pituudet tulevat suoraan viilusorvien karojen välisestä etäisyydestä. Levyjen maksimileveyden määrää kuumapuristimen levyjen suuruus. Koivuviilupintaisten levyjen vakiokoot ovat 1500*1500 mm² ja 1500*3000 mm². Havupuuvanerien vakiokoot ovat 1200*1200 mm², 1200*2400 mm² ja 2400*1200 mm².

Perusvanerityypeille on standardisoitu nimellispaksuudet, jotka ovat riippumattomia levyn rakenteesta ja viilujen nimellispaksuudesta. Standardisoidut levypaksuudet ovat 4, 6½, 9, 12, 15, 18, 20(21), 23(24), 26(27) ja 29(30) mm. Suluissa annetut paksuudet ovat aikaisemmin käytössä olleita koivuvaneripaksuuksia, joita vieläkin käytetään yhdessä uusien paksuuksien kanssa. Aikaisemmin käytössä olleiden paksuuksien pienentäminen johtuu kansainvälisestä tavasta, jossa nimellispaksuutena ilmoitetaan se kokonainen millimetрилukema-arvo, joka on lähinnä todellista paksuutta.

Vanerilevyjen toleranssit on mitattava 8-9 %:n tasapainokosteudessa eli valmistuskosteudessa /3/.

Taulukko 2.4. Vanereiden paksuustoleranssit /3/.

Nimellis- paksuus	Koivu- ja sekavaneri		Havupuuvanerit	
	alaraja	yläraja	alaraja	yläraja
mm	mm	mm	mm	mm
4	3,5	4,1	3,4	4,2
6½	6,1	6,9	6,0	7,0
9	8,8	9,8	8,7	9,9
12	11,5	12,5	11,4	12,6
15	14,3	15,3	14,2	15,4
18	17,1	18,1	17,0	18,2
20(21)	19,9	20,9	19,8	21,0
23(24)	22,9	23,7	22,6	23,8
26(27)	25,2	26,8	25,2	26,8
29(30)	28,0	29,6	28,0	29,6

2.5 VANERIN OMINAISUUDET

Vanerin tiheyteen vaikuttaa puulaji ja kosteuspitoisuus. Kuivan vanerin tiheytenä eri puulajeille voidaan pitää: koivuvaneri 670 kg/m³, mäntyvaneri 540 kg/m³ ja kuusivaneri 450 kg/m³. Sekavanerin tiheys on arvioitava tapauskohtaisesti. Sen arvo on koivuvanerin tiheyden ja kuusivanerin tiheyden välillä.

Vanerissa viilujen kimmo- ja lujuusominaisuuksiin vaikuttaa merkittävästi rasisu suunnan ja puun syiden välinen kulma. Kun viilu asetetaan xy-koordinaatistoon ja syyt joko x- tai y-akselin suuntaan, niin viilun kimmainen käyttäytymistä kuvaa seuraavat yhtälöt:

$$\begin{aligned}\sigma_x &= e_{11}\epsilon_x + e_{12}\epsilon_y, \\ \sigma_y &= e_{12}\epsilon_x + e_{22}\epsilon_y, \\ \tau_{xy} &= e_{33}\gamma_{xy},\end{aligned}$$

(1)

- missä
- σ ja τ

ε ja γ

e₁₁

e₂₂

jännityksiä

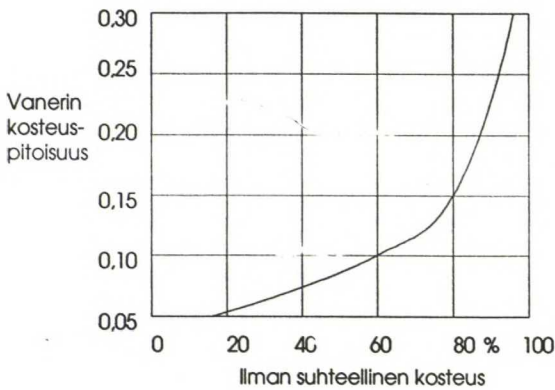
muodonmuutoksia

kimmokerroin x-akselin suunnassa

kimmokerroin y-akselin suunnassa

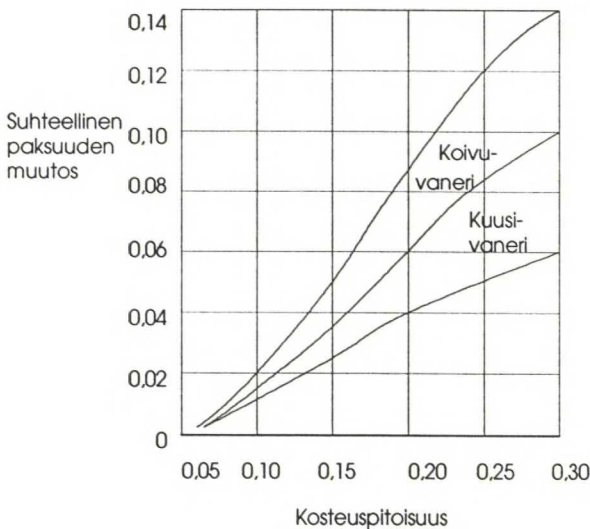
e_{12} suppeumaluvulla kerrottu kimmokerroin
 e_{33} liukukerroin

Vanerin kosteuspitoisuuteen vaikuttaa ilmansuhteellinen kosteus ja lämpötila. Kuvassa 2.1 esitetään vanerin kosteuspitoisuuden riippuvuus ympäröivän ilman suhteellisesta kosteudesta 20 C°:n lämpötilassa. Kun ilman lämpötila laskee, vanerin kosteuspitoisuus nousee /12/.



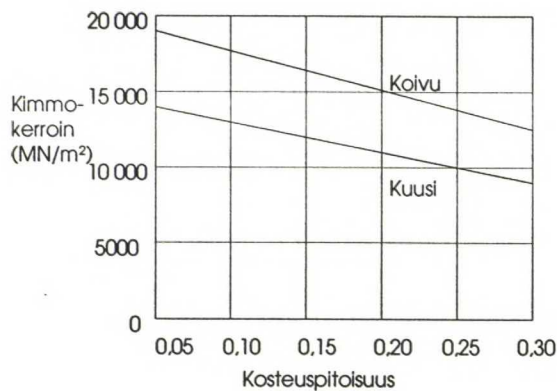
Kuva 2.1. Vanerin kosteuspitoisuuden riippuvuus ympäröivän ilman suhteellisesta kosteudesta 20 C° lämpötilassa /12/.

Kuvassa 2.2 on esitetty vanerin kosteuslaajeneminen levyn tasoa vastaan kohtisuorassa suunnassa. Lukuarvojen vaihteluväli johtuu siitä, että levyn elämiseen vaikuttaa kosteuspitoisuuden lisäksi monia muitakin tekijöitä. Koivuvaneri laajenee enemmän kuin kuusivaneri.

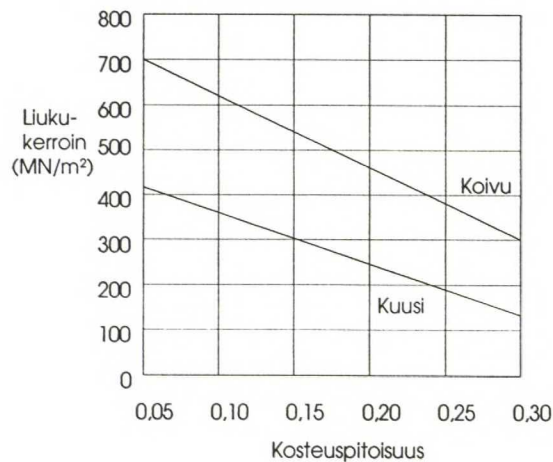


Kuva 2.2. Kosteuden vaikutus vanerin paksuuteen /12/.

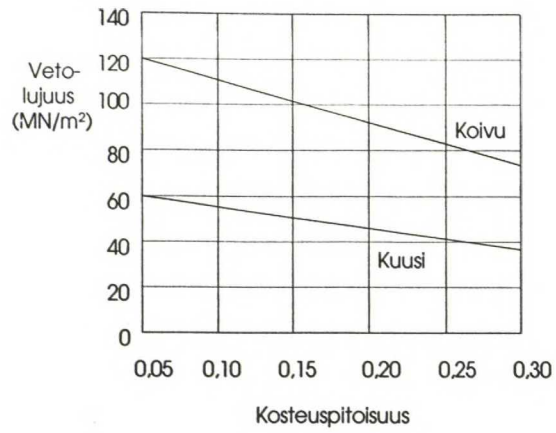
Kuvissa 2.3-2.8 esitetään vaneriviilujen kimmo- ja lujuusarvojen riippuvuus kosteuspitoisuudesta. Kosteuden lisääminen vaikuttaa aina heikentävästi vanerin kimmo- ja lujuusominaisuuksiin. Merkittävin vaikutus kosteudella on liukukertoimen ja puristuslujuuden arvoihin, sen sijaan vaikutus leikkauslujuuteen on suhteellisen pieni. Voidaan myös todeta, että koivu on vanerin raaka-aineena parempaa kuin kuusi. Mäntyviilujen arvot ovat koivu ja kuusiviilujen välissä. Kosteuden vaikutusta viilujen kimmo-ominaisuuksiin on tutkittu Niskasen /4/, Pennalan /7/ ja Rautakorven /8/ /9/ tekemissä tutkimuksissa.



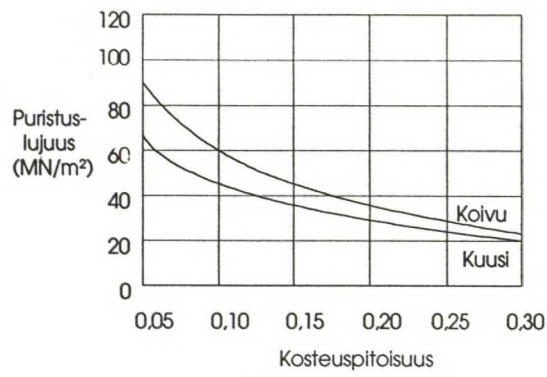
Kuva 2.3. Viilun kimmokerroin syiden suuntaan /8/.



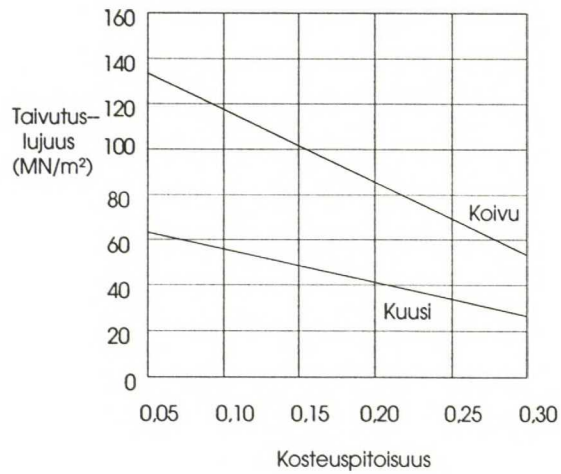
Kuva 2.4. Vanerin paneleileikkaus liukukerroin /8/.



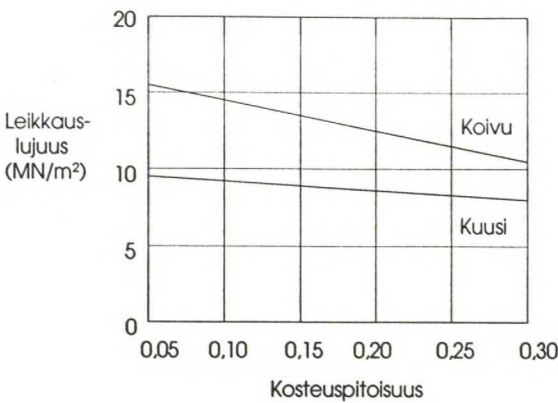
Kuva 2.5. Viilun veto-lujuus syiden suuntaan /8/.



kuva 2.6. Viilun puristuslujuus syiden suuntaa /8/.

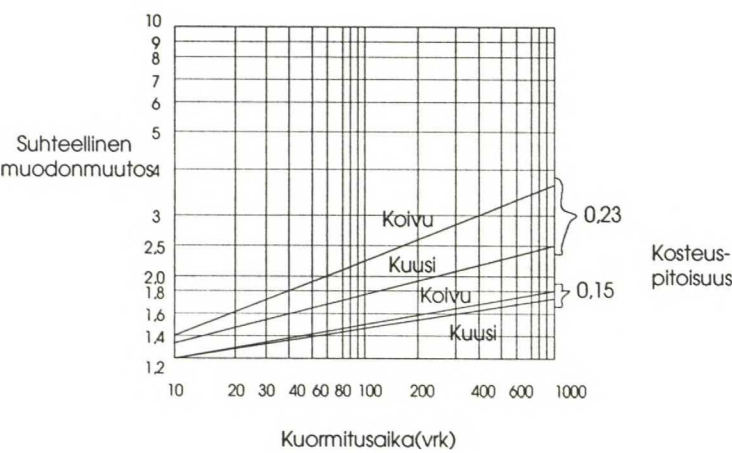


Kuva 2.7. Viilun taivutuslujuus syiden suuntaan /8/.

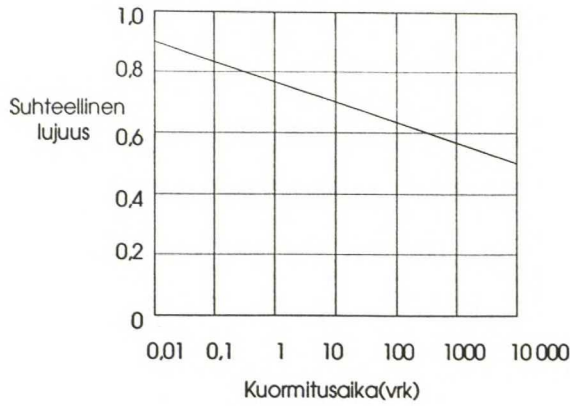


Kuva 2.8. Ristivanerin paneelileikkauslujuus /8/.

Kuormitusaika vaikuttaa jännityksen alaisen puuaineen muodonmuutoksiin, seurauksena on puun viruminen. Muodonmuutosten suuruuteen vaikuttaa puuaineen kosteus, jännitystila ja lämpötila. Ajan vaikutusta koivu ja kuusivanerin muodonmuutoksiin on esitetty kuvassa 2.9. Esimerkiksi koivuvanerin muodonmuutos voi kasvaa vuodessa kolminkertaiseksi lyhytaikaiseen muodonmuutokseen verrattuna. Kuvassa 2.10 on esitetty ajan vaikutus vanerin lujuuteen. Kuvan perustana on normaaliolosuhteissa vetokokeilla saadut tulokset. Tämän mukaan vanerin lujuus olisi pudonnut kymmenessä vuodessa noin puoleen lyhytaikaislujuudesta /3/ /12/.



Kuva 2.9. Kuormitusajan vaikutus vanerin muodonmuutoksiin, kun jännitykset ovat sallitun suuruisia /12/.



Kuva 2.10. Kuormitusajan vaikutus vanerin lujuuteen [12/.

Laitetaan vaneri suorakulmaiseen koordinaatistoon siten, että xy-taso yhtyy vanerin keskitasoon ja x-akseli on pintaviilujen syiden suuntainen. Integroitaessa yhtälöt (1) vanerin paksuuden h yli, saadaan voimien ja muodonmuutosten välille yhtälöt:

$$\begin{aligned} N_x &= A_{11}\epsilon_x + A_{12}\epsilon_y, \\ N_y &= A_{12}\epsilon_x + A_{22}\epsilon_y, \\ N_{xy} &= A_{33}\gamma_{xy}, \end{aligned} \quad (2)$$

missä

N_x , N_y ja N_{xy} ovat kuvan 2.11 mukaiset voimat leveysyksikköä kohti, ϵ_x , ϵ_y ja ϵ_{xy} ovat vastaavat muodonmuutokset ja

$$A_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} e_{ij} dz \quad (3)$$

ovat levynjäykkyysvakioita.

Kertomalla yhtälöt (1) puolittain z :lla ja integroimalla vanerin paksuuden yli saadaan momenttien ja käyritysten välille yhtälöt:

$$\begin{aligned} M_x &= D_{11}\kappa_x + D_{12}\kappa_y, \\ M_y &= D_{12}\kappa_x + D_{22}\kappa_y, \\ M_{xy} &= 2D_{33}\kappa_{xy}, \end{aligned} \quad (4)$$

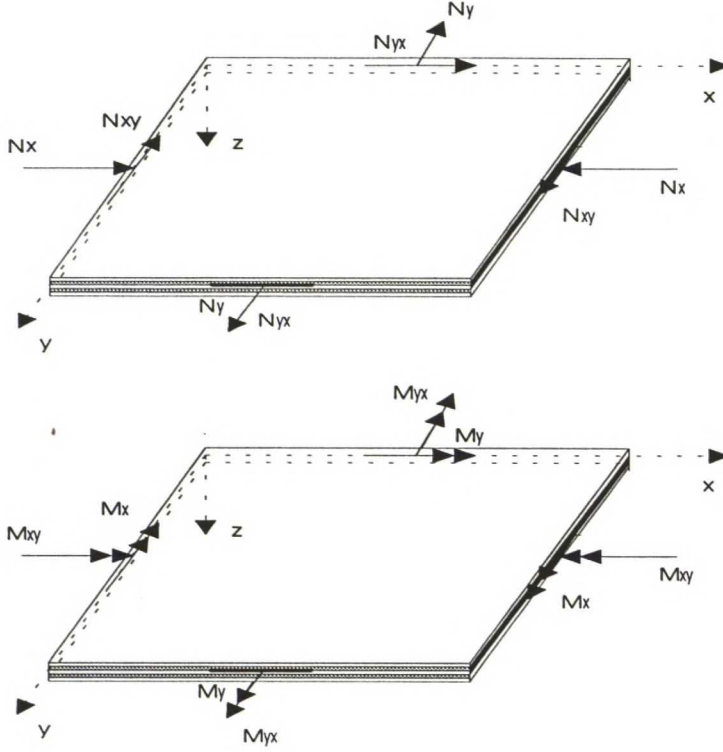
missä

M_x , M_y ja M_{xy}
 κ_x , κ_y ja κ_{xy}

kuvan 2.11 mukaiset momentit leveysyksikköä kohti
momentteja vastaavat käyritykset

$$D_{ij} = \int_{-h/2}^{h/2} ez^2 dz \quad (5)$$

ovat laatan jäykkyysvakioita.



Kuva 2.11. Ylemmässä kuvassa vanerilevyyn ja alemmassa vanerilaattaan vaikuttavat voimat.

Jäykkyysvakiot A_{ij} ja D_{ij} ovat tarpeen laskettaessa vanerirakenteita levy- tai laattateorian avulla. Jolloin lähdetään liikkeelle ortotrooppisen levyn tai laatan diffenrentiaaliyhtälöstä. Levy-yhtälö saadaan jäykkyysvakioiden A_{ij} avulla seuraavasti:

$$A_{11} \frac{d^4 f}{dx^4} + \left(\frac{A_{11}A_{22} - A_{12}^2}{A_{33}} - 2A_{12} \right) \frac{d^4 f}{dx^2 dy^2} + A_{22} \frac{d^4 f}{dy^4} = 0 \quad (6)$$

missä

$$\frac{d^2 f}{dx^2} = N_y, \quad \frac{d^2 f}{dy^2} = N_x \quad \text{ja} \quad \frac{d^2 f}{dx dy} = -N_{xy}.$$

Jäykkyysvakiot D_{ij} esiintyvät laattayhtälössä seuraavasti:

$$D_{11} \frac{d^4 w}{dx^4} + 2(D_{12} + 2D_{33}) \frac{d^4 w}{dx^2 dy^2} + D_{22} \frac{d^4 w}{dy^4} = p(x, y) \quad (7)$$

missä

$w(x, y)$ laatan taipuma

$p(x, y)$ vaneria vastaan kohtisuora kuormitus /12/.

2.6 VANERIN KÄYTTÖ

Rakennusteollisuus on suurin vanerin käyttäjä 60 %:n osuudella. Tästä määrästä kaksi kolmasosaa kuluu muottikäytössä, ja loput muussa rakentamistoiminnassa.

Rakennusaikainen vanerin käyttö on huomattavasti suurempaa kuin rakenteellinen käyttö. Huomattava osa vanerista kuluu betonointitöissä muottilevyinä. Yksinkertaisin muottilevy on muottiöljytty perusvaneri, jota käytetään kohteissa, joissa betonipinnan laadulla ei ole merkitystä, tai jos levyllä valetaan vain muutamia kertoja.

Yleisimmin käytetty muottilevy on filmipintainen valutöihin kehitetty vaneri. Peruslevy pinnoitetaan molemmilta puolilta fenolifilmillä (120 g/m²). Koivuvanerista valmistettuja muottilevyjä käytetään erityisen vaativissa kohteissa: silta- ja patotyömailla, liukuvalussa, tunneleissa ja pilvenpiirtäjissä. Combivaneri on taloudellisempi vaihtoehto, ja sitä voidaan käyttää normaalissa valukäytössä useita kymmeniä kertoja. Kun muottilevyjä ei tarvitse käyttää useita kertoja tai valupinnan laadulla ei ole merkitystä, valuun voidaan käyttää twin- tai havuvaneria.

Super vaneri on kestävä erikoislevy vaativiin kohteisiin, joissa levyn pinnan on kestettävä poikkeuksellisen kovaa kulutusta ja levyn lukuisia käyttökertoja. Yleisimmin käytetyn laminaatin paino on 400 g/m². Super vaneria käytetään betonielementtiteollisuuden valulinjoilla, mutta myös kasetti- ja suurmuoteissa.

3 MUOTIT

3.1 MUOTEILLE ASETETTAVAT VAATIMUKSET

Muotin tulee kestää siihen kohdistuvat rasitukset. Taipumat muodostuvat yleensä mitoittaviksi. Muotin osat on suunniteltava niin, että taipumat eivät kasva asetettujen rajojen yli. Muottipinnan on kestävä mekaanisia rasituksia vastaan. Muottilevyjen ja tukirakenteiden on oltava niin vahvat, että betonirakenteiden lopulliset mitat ovat sallittujen toleranssien sisällä.

Muottirakenne pyritään saamaan mahdollisimman edulliseksi. Tähän vaikuttaa kestävyys valupainetta, lämmitystä, kulumista ja säätä vastaan. Betoni ja sää vaikuttaa muotin kosteuteen. Valun aikana muotin sisäpinnassa on 100 %:n kosteus. Lämpötilan vaihtelut aiheuttavat muottiin rasitusta. Betoni lämpenee kovettuessaan ja lämmittää muottia. Betonin sitoutuessa lämpötila voi nousta 40 °C:een. Talvibetonoinnissa muottia joudutaan lämmittämään, jolloin lämpötila betonissa ja betonin sisäpinnassa voi olla jopa 80 °C.

3.2 MUOTTIEN MATERIAALIT

Yleisimmät muottimateriaalit ovat vaneri, lauta, teräs, alumiini, betoni ja lujitemuovi.

Vaneria käytetään irrallisina levyinä sekä suur- ja pöytämuoteissa. Irrallisia levyjä käytettäessä muottia tukee koolaus ja ansaat, jotka ovat yleensä puuta tai terästä. Eniten käytetään filmipintaista reunasuojattua sekavaneria, jota voidaan käyttää irtotavarana 4-8 kertaa ja suurmuoteissa vähintään 20-30 kertaa. Öljytty pinnoittamaton perusvaneri kestä 1-2 valua.

Lautaa käytetään kohteissa, joita on muuten vaikea muotittaa. Vanerilevyt syrjäyttävät lautta pintamateriaalina sekä terästä pinta- ja tukimateriaalina. Terästä ja alumiinia käytetään kohteissa joissa on useita valuja. Teräs kestä hyvin kuormitusta ja satoja käyttökertoja. Alumiininkestävyys on vielä parempi kuin teräksen, ja se on kevyttä, joten siitä voidaan valmistaa suurempia liikuteltavia muottiyksiköitä.

Lujitemuovia käytetään pilareiden ja arinalaattojen kupumuotteina. Sitä voidaan käyttää 30-40 kertaa, mutta se särkyy helposti ja sen korjaaminen on vaikeaa.

Muita muottirakenteita ovat betoniset kuorilaatat ja poimulevyt. Kuorilaatta toimii muottina ja muodostaa päälle valetun betonin kanssa kantavan rakenteen. Poimulevy toimii valun aikana muottina ja valmiissa rakenteessa se on laatan alapinnan raudoituksena /1/ /16/.

3.3 MUOTTIVANERIT

Yksinkertaisin muottivaneri on öljyitty muottilevy. Perusvanereiden öljyminen suoritetaan vaneritehtaalla yleisesti 2-telalevittäjällä.

Tärkein pinnoitettu muottivaneri on nestemäisellä fenolihartsilla impregnoidulla paperilla päällystetty eli filmipinnoitettu betonointilevy. Pinnoitus suoritetaan kuumapuristimella metallilevyjen välissä. Pinnoitteen painot voi olla 117 g/m^2 , 167 g/m^2 tai 259 g/m^2 . Filmipintaisten muottilevyjen reunasuojaukseen käytetään akryyli-, epoksi- ja polyuretaanimaalia, joita ruiskutetaan $200\text{--}300 \text{ g/m}^2$ kalvoksi. Pinnoitteena on käytetty myös lasikuituvahvisteisia muovikalvoja ja maaleja. Ongelmana on ollut lämpö- ja kosteusliikkeiden aiheuttamat halkeilut ja pinnoitteiden irtoamiset /1/ /16/.

3.4 MUOTTIEN TUKIRAKENTEET

Muottien tukirakenteiden on annettava muoteille riittävä jäykkyys, jotta taipumat pysyvät sallituissa rajoissa. Tukirakenteet jaetaan toimintatavaltaan pysty- ja vaakatelineisiin.

Pystytelineet rakennetaan usein tukitornien muotoon, ja ne jäykistetään vaaka- ja pystysiteillä. Pystytelineet varustetaan usein laskulaitteilla muotin irroittamista varten. Vaakatelineet voivat olla ansaita, ristikoita tai koottavia palkkirakenteita. Vaakatelineitä käytetään silloin, kun muottien alla tarvitaan pystyrakenteista vapaita kulkuaukkoja.

Sekä pysty- että vaakatelineiden materiaalina voidaan käyttää puuta tai terästä. Puiset tukirakenteet tehdään lankuista ja laudoista käyttäen liittiminä nauvoja, pultteja ja sidoslevyjä. Terästelineet kootaan yleensä valmisosista, joita ovat putkitelineet, ristikot ja telinekannattajat. Osien yhdistämiseen käytetään lukkoja ja pultteja.

3.5 VALUN AIHEUTTAMAT RASITUKSET

3.5.1 Valupaineen merkitys

Valupaineen tunteminen on tärkeää muotteja mitoitettaessa, jotta välttyttäisiin turhilta kustannuksilta. Muotit mitoitetaan tavallisesti n. 40 kN/m² valupaineelle, mutta todellinen paine valupaikalla saattaa olla jopa yli 60 kN/m².

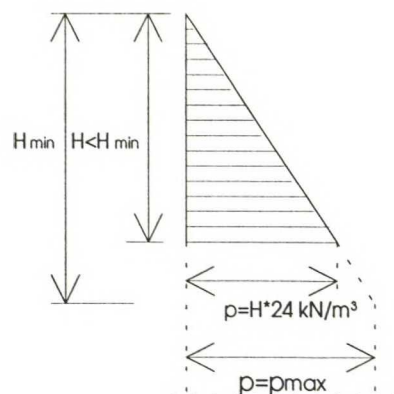
Valupaine vaikuttaa muottiin valusta muotin purkamiseen asti. Tämä muodostaa muotin suurimman rasituksen, joten valupaineella on suuri vaikutus muotin kestävyys. Ylikuormitus saattaa aiheuttaa pystymuottien pullistumista, joka vaurioittaa muottia. Valupinnan laadun huonontumisen seurauksena joudutaan suorittamaan betonipinnan jälkikorjausta piikkaamalla. Oikealla mitoituksella muotin kestävyys paranee ja valupinnan laatu säilyy pitkään hyvänä.

3.5.2 Valupaineen jakautuminen

Valupaineen teoreettisena jakautumana on yleensä käytetty bilineaarista abroksimaatiota, kuva 4.1. Valupaineen vaikutus otaksutaan horisontaaliseksi. Syvyyteen H_{min} asti valupaine on yhtäsuuri kuin betonimassan hydrostaattinen paine eli betoni toimii nesteinä, jonka ominaispaino on noin 2400 kg/m³. Tämän alapuolella paine oletetaan vakioksi p_{max} , joka on valupaineen laskennallinen maksimiarvo. H_{min} voidaan laskea p_{max} :n avulla kaavalla (1):

$$H_{min} = \frac{p_{max}}{\rho_{bet}}$$

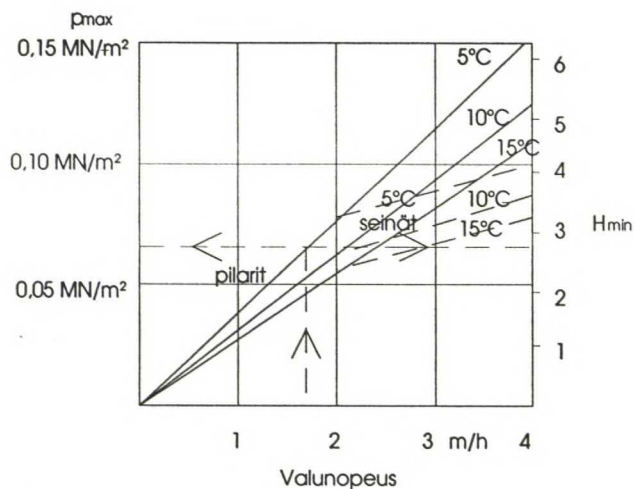
(8)



Kuva 3.1. Valupaineen oletettu jakautuminen pystymuotissa [1/].

Suurin tekijä maksimiarvon vakioitumiseen on betonin holvautuminen. Betonimassan sitoutuminen aiheuttaa betonin jäykistymistä, mistä seuraa holvaantuminen.

Muottipaineen suuruuteen vaikuttaa muotin korkeus, valunopeus, massan notkeus ja tärytyksen teho. Muottipaineen määrittämiseksi on laadittu nomogrammeja. Niistä saadaan valunopeuden ja betonimassan lämpötilan avulla muottipaineen maksimiarvo ja korkeus, johon saakka paine kasvaa suoraviivaisesti.



Kuva 3.2. Muottipaineen p_{max} valunopeuden funktiona /1/.

4 AIKAISEMMIN SUORITETUT TUTKIMUKSET

4.1 TOISTUVAN KÄYTÖN VAIKUTUS MUOTTIVANERIEN OMINAISUUKSIIN /HANNU PARIKKA /6/

Hannu Parikka on tutkinut diplomityössään suomalaisten muottivanerien käyttäytymistä ja jäykkyysominaisuuksien säilymistä eri tavoilla valettaessa.

4.1.1 Valukokeet

Valukokeet jakautuivat kolmeen jaksoon. Ensimmäisessä jaksossa valut suoritettiin noudattaen valitun mitoituspaineen 40 kN/m^2 edellyttämää nousunopeutta sekä betonoinnista annettuja ohjeita. Toisessa vaiheessa lisättiin valun nousunopeutta, jolloin myös valupaine 60 kN/m^2 . Valut suoritettiin muuten normien mukaan. Kolmannessa jaksossa täytettiin muotti nopeasti muutamalla täyttökerralla välittämättä suositelluista kerrospaksuuksista ja tärytysohjeista, jolloin valupaine oli 74 kN/m^2 .

Valukokeen ensimmäisessä jaksossa valun nousunopeus oli $1,7 \text{ m/h}$ ja maksimivalupaine 48 kN/m^2 sekä seinä- että pilarimuotissa. Kuuden valun aikana ei vanerilevyille tapahtunut suuriakaan silmin havaittavia muutoksia. Ainoastaan vanerilevyjen pintakiilto hävisi jo ensimmäisen valun aikana. Pinnoitteeseen tulleet naarmut eivät olleet syviä eikä vanerien filmipinta rikkoutunut näiden valujen aikana. Myös lievää vanerien turpoamista voitiin havaita levyjen saumojen läheisyydessä.

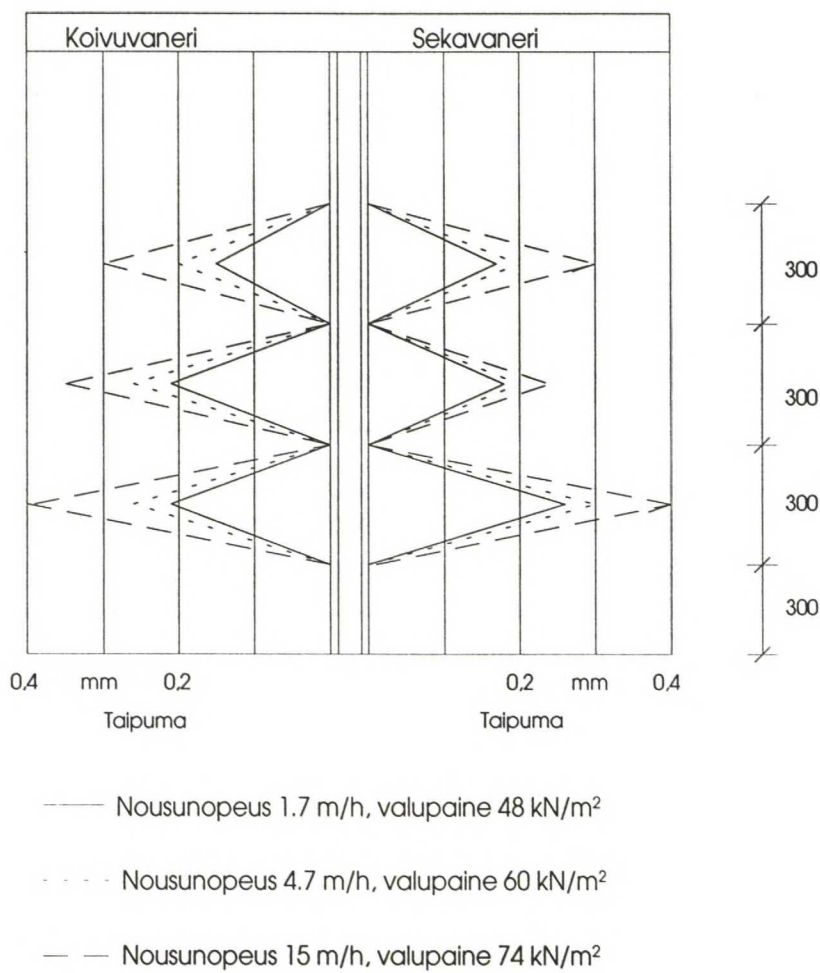
Toisessa jaksossa ennen valujen aloittamista osaan muoteista vaihdettiin uudet koekappalelevyt. Nyt valunopeus nostettiin $4,5 \text{ m/h}$:iin, jolloin maksimivalupaine oli molemmissa muoteissa 60 kN/m^2 .

Valukokeen alusta asti muoteissa olleet vanerilevyt olivat selvästi paksumpia (varsinkin reuna-alueiltaan) kuin uudet muotteihin asennetut koekappalelevyt. Jakson kolmen valun aikana myös uusien levyjen pintakiilto hävisi ja selvää reuna-alueiden turpoamista voitiin havaita myös näissä levyissä.

Kolmannessa jaksossa valun nousunopeus oli 15 m/h ja maksimivalupaine molemmissa muoteissa 74 kN/m^2 . Jaksoon kuuluvien kolmen valun aikana levyjen turpoaminen jatkui ja reuna-alueiden voimakas paksuneminen levisi levyjen keskialueita kohti.

Sekä seka- että koivuvanereissa (paksuus 15 mm) filmipinta alkoi rikkoutua reunoiltaan levyissä, jotka olivat olleet muoteissa kaikkien 12 valun aikana. Filmipinta oli näillä alueilla halkeilut ja muuttunut pinnaltaan aaltomaiseksi. Muilla alueilla ei pinnoitteessa havaittu rikkoumia, mutta kiilto oli hävinnyt levyistä kokonaan ja pinta tuntui selvästi karhealta.

Vanerilevyjen taipuminen muoteissa oli hyvin pientä koolausväleistä mitattuna. Kuvassa 4.1 on esitetty seinämuotissa tapahtuneet vanerilevyjen keskimääräiset taipumat valukokeen eri jaksoissa.



Kuva 4.1. Valukokeen seinämuottivanerin maksimitaipumat erilaisilla valun nousunopeuksilla. Vanerien paksuus 15 mm.

Kahdessa ensimmäisessä jaksossa sekavanerilevyt taipuivat valupaineen alaisena hieman koivuvanerilevyjä enemmän. Ensimmäisen jakson maksimitaipuma koivuvanerilla oli noin 0,20 mm ja sekavanerin noin 0,25 mm. Toisessa jaksossa koivuvanerin maksimitaipuma oli noin 0,25 mm ja sekavanerin noin 0,3 mm.

Kolmannessa valujaksossa koivu- ja sekavanerinlevyjen taipumat olivat lähes saman suuruisia. Maksimitaipumat mittausalueella olivat noin 0,4 mm.

Valun aikana tehtiin myös havaintoja muotin muiden osien käyttäytymisestä. Tukien todettiin painuvan ansaiden kohdalta, varsinkin ensimmäisen valun aikana sekä valuissa, joissa oli suuri valupaine.

Valujen aikana ja jälkeen tutkittiin myös betonin lämpötilaa. Betonointi tapahtui noin 20 °C lämpötilassa. Betonin valulämpötila vaihteli 15 °C:sta 25 °C:een riippuen sen lämpötilasta betonitehtaalta lähtiessä, ilman lämpötilasta kuljetuksen aikana ja odotusajan pituudesta. Muotissa betonin lämpötila nousi sitoutumisen aikana noin 40 °C:een riippumatta betonin alkulämpötilasta tai valutavasta.

4.1.2 Kosteuden muuttuminen valukokeessa

Kosteus kohosi ensimmäisen kuuden valun aikana molemmilla vanerityypeillä noin 10 %-yksikköä lähtökosteudesta, joka oli noin 8 %. Sen jälkeen kostuminen hidastui ja kosteus oli kaikissa 12 valuissa olleilla koivuvanerikoekappaleilla 23,0 % ja sekavanerikoekappaleilla 21,8 %, kun reuna-alueet oli sahattu ennen mittauksia pois.

Viimeistä kuutta valua varten asennetut koekappalelevyt kostuivat valujen aikana selvästi voimakkaammin kuin ensimmäisessä kuudessa valussa olleet koekappalelevyt. Näiden uusien koekappaleiden keskimääräiset kosteudet olivat koivuvanerilla 19,6 % ja sekavanerilla 21,7 %.

4.1.3 Kosteuden muuttuminen kosteuskokeessa

Kosteuskokeessa pidettiin neljää seka- ja koivuvanerilevyä öisin muoviteltassa, johon voimakkaalla ilmankostuttimella saatiin noin 95 % suhteellinen kosteus. Lämpötila oli koko kokeen ajan noin 20 °C. Päiviksi vanerilevyjen päältä otettiin muovitelta pois, jolloin ne olivat 20 °C lämpötilassa ja 40 % suhteellisessa kosteudessa.

Kosteus lisääntyi molemmilla vanerityypeillä tasaisesti neljän ensimmäisen koeviikon aikana. Koivuvanerilla 7,8 %:n lähtökosteus oli 1, 2 ja neljän viikon kokeen jälkeen noussut 12,5 , 14,7 ja 20,9 %:iin. Tämän jälkeen kostuminen tasaantui ja kahdeksan viikon jälkeen tutkitun vanerin kosteus oli neljän viikon jälkeen tutkitun vanerin kosteutta alhaisempi eli 19,0 %.

Sekavanerin kosteus oli noussut ensimmäisen viikon aikana 8,0:sta 14,1 %:iin, kahden viikon jälkeen 16,2 %:iin ja neljän viikon kuluttua se oli 20,8 %. Myös sekavanerilla kostuminen tasaantui tämän jälkeen. Kahdeksan viikkoa kokeessa olleiden koekappaleiden kosteudeksi mitattiin 21,5 %.

4.1.4 Lämpötilakoe

Lämpötilakokeessa vanerilevyt pantiin yöksi lämpökaappiin, jossa kaapin alaosassa oleva vesi lämmitettiin noin 85 °C lämpötilaan. Kokeen kesto oli viisi viikkoa. Kaapin yläosassa, jossa vanerilevyt olivat oli lämpötila noin 80 °C ja suhteellinen kosteus noin 100 %. Koekappalelevyjä oli 2 kpl koivuvanerista ja 2 kpl sekavanerista. Päivisin lämpökaapin kansi avattiin ja alaosassa olevan veden lämmitys keskeytettiin. Näin vanerilevyt olivat noin 20 °C lämpötilassa ja 40 % suhteellisessa kosteudessa.

Vanerien ulkonäkö muuttui kokeen aikana selvästi. Jo ensimmäisten päivien aikana vanerit turposivat voimakkaasti ja epätasaisesti, jolloin reunasuojaukseen tuli halkeamia. Myös filmipinta halkeili ja muuttui selvästi aaltomaiseksi jo ensimmäisen koeviikon aikana.

Koekappaleita tutkittaessa havaittiin viilujen halkeilleen koko vanerissa syiden pituussuunnassa 0,5-2 mm levyisiksi suikaleiksi. Tämä näkyi erittäin selvästi koekappaleiden kuivauksen jälkeen, jolloin suikaleiden väliin oli tullut selvät raot.

Koivuvanerin taivutusjäykkyys 2,80 MNmm²/mm laski koejakson aikana 1,12 MNmm²/mm:iin (noin 40 % alkuperäisestä) ja sekavanerin taivutusjäykkyys laski vastaavasti 2,67 MNmm²/mm:stä 1,67 MNmm²/mm:iin (noin 63 % lähtöarvosta).

Kosteus lisääntyi sekä koivu- että sekavanerilla kokeen aikana noin 21 %:iin.

4.1.5 Alkalisuuskoe

Alkalisuuskokeessa neljä koivu- ja neljä sekavanerilevyä upotettiin yön ajaksi alkaliliuokseen, joka oli lämmitetty noin 80 °C lämpötilaan. Päivän ajaksi vanerilevyt nostettiin taljalla lämpöaltaan päälle 20 °C lämpötilaan ja 40 % suhteelliseen kosteuteen. Alkaliliuos oli valmistettu laittamalla sementtiä muoviasiaan, johon laskettiin 25 l vettä samalla hieman hämmentäen. Sen jälkeen vesi laskettiin lämpöaltaaseen. Sementtiin oli sekoitettu sokeria sitoutumisen estämiseksi.

Alkalisuuskokeessa vanerien ominaisuuksien huononeminen oli yhtä voimakasta kuin lämpötilakokeessakin. Turpoaminen sekä reunasuojauksen ja filmipinnan halkeilu oli samanlaista, mutta sementin avulla tehty alkaliliuos muutti vanerin värin paikoin vaalean harmaaksi ja teki vanerin pinnasta karhean ja epätasaisen. Viilujen halkeilu oli lämpötilakokeessa esiintynyttä halkeilua vieläkin voimakkaampaa.

Kosteus lisääntyi seka- ja koivuvanerilla voimakkaimmin ensimmäisen koeviikon aikana, noin 32 %:iin. Kahden viikon jälkeen niiden kosteus oli noin 40 % ja neljän viikon jälkeen noin 44 %. Seuraavien neljän viikon aikana kostuminen jatkui hitaampana ja oli lopussa noin 52 %.

Taivutusjäykkyys laski tässä kokeessa kuten lämpötilakokeessakin. Koivuvanerin taivutusjäykkyys laski jo ensimmäisen viikon aikana $2,80 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$:stä $1,72 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$:iin. Tämän jälkeen taivutusjäykkyyden aleneminen hidastui, ja neljän viikon jälkeen jäykkyys oli $1,17 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$, eli noin 42 % alkuperäisestä. Kahdeksan viikon jälkeen jäykkyys oli hieman noussut ja oli $1,49 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$.

Sekavanerilevyillä taivutusjäykkyys laski ensimmäisen viikon aikana $2,67 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$:stä $2,14 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$:iin. Jäykkyyden pieneneminen jatkui koko kokeen ajan ja jäykkyys oli kahdeksan viikon jälkeen $1,23 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$, noin 46 % alkuperäisestä.

4.1.5 Tulosten arviointi

Valukokeessa olleiden koivuvanereiden kosteus oli noin 23 % ja sekavanereiden noin 22 %. Kosteuskokeessa koivu- ja sekavanereiden kosteus nousi noin 21 %:iin. Valupaine lisää veden imeytymistä muottivaneriin. Lämpötilakokeessa kosteus lisääntyi sekä koivu- että sekavanerilla kokeen aikana noin 21 %:iin. Alkalisuuskokeen lopussa molempien vanereiden kosteus oli noin 52 %. Syynä siihen, että alkalisuuskokeessa kosteus nousi korkeammaksi on siinä käytetty vesiupotus, jossa vanerit olivat yön ajan noin 80°C lämpöisessä alkaliliuoksessa. Kosteuskokeessa vanerit olivat öisin muoviteltassa, jonka suhteellinen kosteus oli 95 % ja lämpötila noin 20°C . Lämpötilakokeessa vanerit olivat yön ajan lämpökaapissa, jonka suhteellinen kosteus oli 100 % ja lämpötila 80°C .

Lämpötilakokeessa koivuvanerin taivutusjäykkyys $2,80 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$ laski koejakson aikana $1,12 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$:iin ja sekavanerin taivutusjäykkyys laski vastaavasti $2,67 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$:stä $1,67 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$:iin. Alkaalisuuskokeessa koivuvanerin taivutus-

jäykkyys laski jo ensimmäisen viikon aikana $2,80 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$:stä $1,72 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$:iin. Tämän jälkeen taivutusjäykkyyden aleneminen hidastui, ja neljän viikon jälkeen jäykkyys oli $1,17 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$. Sekavanerilevyillä taivutusjäykkyys alkalisuuskokeessa laski ensimmäisen viikon aikana $2,67 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$:stä $2,14 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$:iin. Jäykkyyden pieneneminen jatkui koko kokeen ajan ja jäykkyys oli kahdeksan viikon jälkeen $1,23 \text{ MNmm}^2/\text{mm}$.

4.2 FILMIPINTAISEN VANERIN KOSTUMINEN

Filmipintaisen vanerin kostumista ja kuivumista on tutkinut Seppo Nurmi, Teknillisessä korkeakoulussa 1978 tehdyssä erikoistyössä.

4.2.1 Tutkimuksen suoritus

Tutkimuksessa käytetyt koelevyt olivat pinnoitettuja ja reunasuojattuja, ne olivat kooltaan $400 * 1200 \text{ mm}^2$, paksuuden ollessa 12 mm . Kokeessa käytettiin koivu- ja havuvaneria, joita oli käsitelty kolmella eri tavalla: 117 g/m^2 ja 167 g/m^2 painava fenolihartsikalvo, sekä ilman pinnoitetta, mutta reunat suojattu. Tutkimuksessa tehtiin kaksi kostumiskoetta. Ensimmäisessä kokeessa valmistettiin 10% :n sementtivesiliuos, johon koelevyt upotettiin. Kosteus määritettiin punnitus-kuivatus -menetelmällä. Toisessa kokeessa näytteet upotettiin veteen.

4.2.2 Koelevyjen kostuminen kymmenprosenttisessa sementtivesiliuoksessa

Vertailtaessa keskimääräisiä kosteuksia, voidaan koelevyt jakaa kahteen selvästi toisistaan eroavaan ryhmään. Ensimmäisen ryhmän muodostavat levyt, joiden veden imeytyminen jäi alle 40% : n 10 vuorokauden liotusajalla. Tähän ryhmään kuuluu koivuvaneri sekä 117 g:n että 167 g:n filmipinnalla, ja havuvaneri $167 \text{ filmipinnalla}$. Toiseen ryhmään kuuluu havuvaneri 117 g:n pinnoitteella ja koivu- ja havuvaneri ilman pinnoitetta. Näiden loppukosteudet olivat noin 60 , 65 ja 80% .

4.2.3 Koelevyjen kostuminen vesiliotuksessa

Keskimääräiset kosteudet olivat saman suuruisia kuin sementtivesiliotuksessaakin. Ainoastaan pinnoittamattomaan havuvaneriin imeytyi vettä selvästi enemmän, ja loppukosteus oli noin 25% suurempi.

5 KOEJÄRJESTELYT

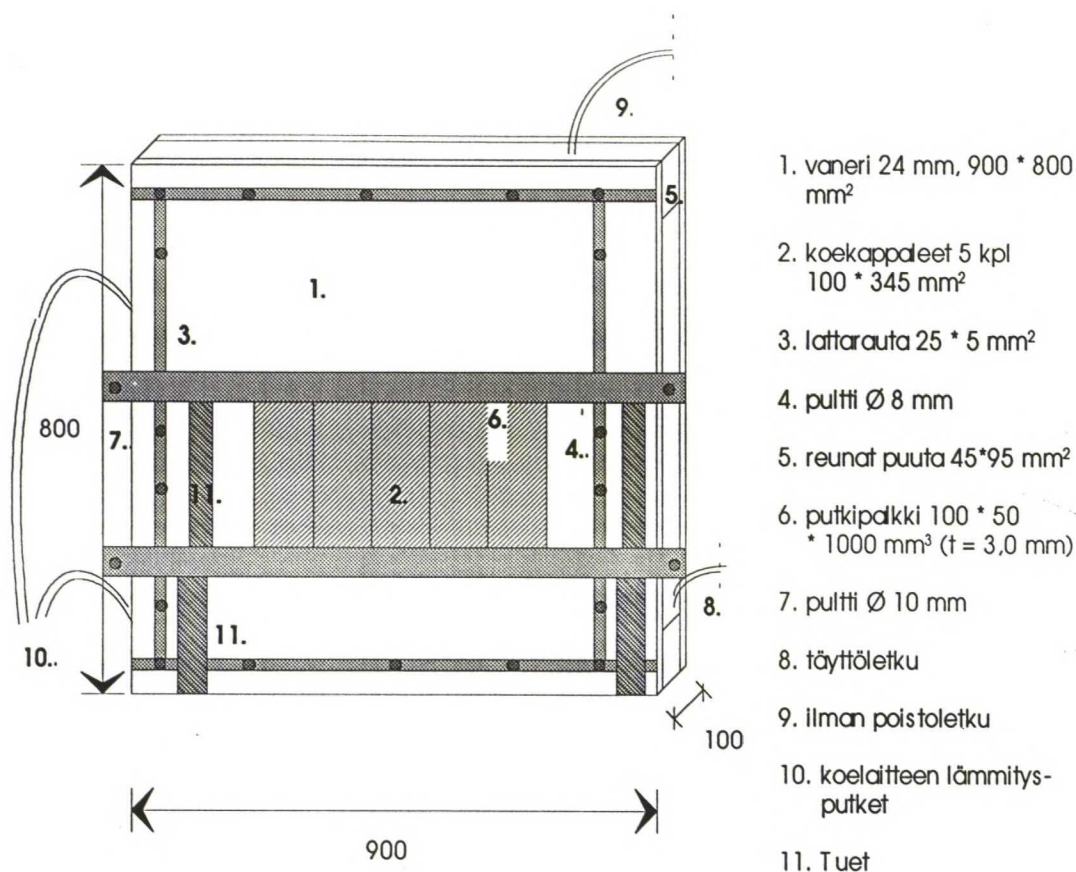
5.1 KOESTUSLAITE

Koelaitteella pyritään jäljittelemään niitä olosuhteita, joihin muottivaneri joutuu todellisessa valutilanteessa. Muottivaneri joutuu valussa monien erilaisten rasitusten alaiseksi, joita syntyy mm. kuormituksen, kosteuden ja lämmön vaikutuksesta. Betonin aiheuttama rasitus vaneriin korvattiin hydrostaattisella vedenpaineella. Näin voidaan helposti suorittaa toistuvia valuja, jotka ovat tarpeen muottivanerin virumisen selvittämiseksi. Betonin käyttö olisi ollut käytettävissä olevien resurssien takia vaikeaa.

Koelaitteen rungon muodostaa laatikko, johon koekappaleet kiinnitetään. Yhdellä kertaa pystytään koestamaan kymmenen $100 \times 350 \text{ mm}^2$ suuruista koekappaletta siten, että koelaatikon kummallekin sivulle voidaan kiinnittää viisi vanerinäytettä. Koekappaleiden tukipisteiden jänneväli on 300 mm.

Laatikko tehtiin kahdesta 24 mm:n filmipintaisesta koivuvanerilevystä, joiden koko $b \times h$ on $900 \times 800 \text{ mm}^2$. Levyjen väliin niiden reunoille laitettiin höylätavaraa $45 \times 95 \text{ mm}^2$ siten, että levyjen etäisyys on 45 mm. Koska laatikkoon kohdistuu suuri paine 40 kN/m^2 , sen tiiviyyteen ja kestävyys jouduttiin kiinnittämään erityistä huomiota. Vanerilevyt pultattiin toisiinsa kiinni $\varnothing 6 \text{ mm}$:n pulteilla. Laatikon sisäpuolelle asetettiin 2 mm:n PTFE(polytetrafluorieteeni)-kalvo. Saumakohdat tiivistettiin Sikaflex-saumausaineella.

Betonin hydratoituessa syntyy lämpöä, joka vaikuttaa muottivaneriin. Lämmön saamiseksi koelaitteeseen asennettiin kuparista tehty lämmitysputki, jonka avulla voitiin säätää laatikossa olevan veden lämpötilaa.



Kuva 5.1. Periaatekuva koelaitteesta.

5.2 KOELAITTEISTON TOIMINTA

5.2.1 Vedenpaine

Vesi koestukseen saadaan normaalista vesijohtoverkosta. Paine saadaan aikaan muoviletkulla, joka nostetaan halutulle korkeudelle. Ylhäällä on muovisäiliö, jonka tarkoituksena on veden pitäminen halutulla tasolla koko kokeen ajan. Laatikossa oleva paine saadaan suoraan yhtälöstä $p = \rho * h$, missä ρ on veden tilavuuspaino ja h korkeusero veden yläpinnan ja koekappaleiden välillä.

5.2.2 Lämmitys

Koelaitteessa olevan veden lämpötilaa säädetään laatikossa olevalla vesikiertolämmityksellä. Lämmitetty vesi kiertää laatikkoon asennetussa kupariputkistossa. Laatikossa olevan veden lämpötilan oikeellisuuden varmistamiseksi laatikkoon menee ohut pohjalta suljettu kupariputki, johon mahtuu lämpömittari.

5.2.3 Kostutuksen järjestäminen

Vaneri joutuu betonimuotissa alttiiksi kosteudelle. Koekappaleiden kostutus suoritetaan siten, että koekappaleita pidetään tunnin ajan ennen koestusta vesiastiassa, jossa on vettä noin 1-1,5 mm, jotta vaneri kastuisi vain toiselta puolelta. Lisäksi kokeen ajaksi asetetaan koekappaleiden ja koelaitteen muovikalvon väliin kostea materiaali, jonka tarkoituksena on ylläpitää kosteutta. Ongelmana on kova paine koekappaleiden ja muovikalvon välillä, joka pyrkii työntämään veden pois.

5.2.4 Koekappaleiden kiinnittäminen

Koekappaleet asetetaan koestuslaatikossa oleviin aukkoihin, ja niiden paikallaan pysyminen on varmistettu lattateräksestä tehtyjen tukien avulla.

5.2.5 Taipumien mittaus

Taipumien mittaus suoritetaan mittakellolla, jonka jänneväli on 225 mm. Mitattaviin vanereihin on merkitty pisteet, joihin mittakello asetetaan.

6 KOEMATERIAALIT

6.1 YLEISTÄ

Koekappaleet sahattiin isosta levystä, ne mitattiin ja punnittiin. Koekappaleet sahattiin hieman nimellismittoja pienemmiksi, jotta ne eivät koestuksessa joutuisi kosketuksiin toistensa kanssa ja jotta vanerien kosteuslaajenemiselle olisi riittävästi tilaa.

Kosteusnäytteitä otettiin myös viisi kappaletta, ne punnittiin ja niitä pidettiin uunissa 105 °C:n lämpötilassa kahden vrk:n ajan.

Koekappaleiden alkukosteus ja tiheyden mittaust:

$$u = \frac{100(m_u - m_o)}{m_o} \quad (\%) \quad (2)$$

$$\rho = \frac{m_u}{V_u} \quad (3)$$

, missä

u	=	kosteus
m_u	=	massa säilytyskosteudessa
m_o	=	massa kuivana
ρ	=	tiheys säilytyskosteudessa
V_u	=	tilavuus säilytyskosteudessa

6.2 ESIKOKEET

Tutkittavat vanerinäytteet olivat 15 mm:n koivuvaneri, jonka pintaviilut olivat jännevälin suuntaiset ja 18 mm:n havuvaneri, jossa pintaviilut myös olivat jännevälin suuntaan.

6.2.1 Koivuvaneri 15 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaan

Koekappaleiden tiheydeksi säilytyskosteudessa saatiin 667 kg/m³, joka vastaa melko hyvin kirjallisuudesta saatavia arvoja koivuvanerille, joissa koivuvanerille annetaan tiheydeksi noin 650 kg/m³. Saadut mittaustulokset on esitetty taulukossa 6.1.

Kosteusnäytteistä saadut arvot on esitetty taulukossa 6.2. Vanerin säilytyskosteuspitoisuus on melko alhainen noin 5,8 %, mikä johtuu niiden säilytyskuoneen alhaisesta suhteellisesta kosteudesta RH, joka oli noin 30 %.

Taulukko 6.1. 15 mm:n koivuvanerinäytteiden mitat.

	Tunnus	Pituus	Leveys	Paksuus	Paino	Tiheys
		mm	mm	mm	g	kg/m³
1	koivu15s1	346	97,6	14,3	326,0	675
2	koivu15s2	346	97,6	14,3	320,0	662
3	koivu15s3	346	97,6	14,3	320,7	664
4	koivu15s4	346	97,5	14,3	324,3	672
5	koivu15s5	344	97,5	14,3	316,4	660
keskiarvo=				14,3	keskiarvo=	667

Taulukko 6.2. 15 mm:n koivuvanerin kosteusnäytteiden mittaustulokset.

		Pituus	Leveys	Paksuus	Paino al.	2vrk. kuiv.	kosteus
		mm	mm	mm	g	g	%
1	koivu15	52,1	97,6	14,3	50,35	47,50	6,04
2	koivu15	51,9	97,6	14,3	47,00	44,52	5,53
3	koivu15	52,1	97,6	14,3	50,20	47,38	5,95
4	koivu15	52,2	97,5	14,3	48,11	45,51	5,71
5	koivu15	52,2	97,5	14,3	46,90	44,40	5,55
keskiarvo=							5,76

6.2.2 Havuvaneri 18 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaan

Koekappaleiden tiheydeksi säilytyskosteudessa saatiin 484 kg/m³, joka vastaa melko hyvin kirjallisuudesta saatavia arvoja, jossa kuusivanerille annetaan tiheydeksi noin 470 kg/m³. Saadut mittaustulokset on esitetty taulukossa 8.3. Kosteusnäytteistä saadut arvot on esitetty taulukossa 8.4. Vanerin säilytyskosteuspitoisuus on alhainen noin 6,6 %.

Taulukko 6.3. 18 mm:n havuvanerinäytteiden mitat.

	Tunnus	Pituus	Leveys	Paksuus	Paino	Tiheys
		mm	mm	mm	g	kg/m³
1	havu18s1	346	97,5	17,7	288,0	482
2	havu18s2	346	97,5	17,6	293,0	494
3	havu18s3	346	97,6	17,8	279,3	465
4	havu18s4	346	97,6	17,7	290,6	486
5	havu18s5	346	97,7	17,6	293,0	492
keskiarvo=				17,7	keskiarvo=	484

Taulukko 6.4. 18 mm:n havuvanerin kosteusnäytteiden mittaustulokset.

		Pituus	Leveys	Paksuus	Paino al.	2vrk. kuiv.	kosteus
		mm	mm	mm	g	g	%
1	havu18	47,5	97,5	17,7	40,267	37,82	6,48
2	havu18	47,3	97,5	17,6	41,728	39,17	6,54
3	havu18	47,4	97,6	17,8	37,056	34,76	6,61
4	havu18	47,4	97,6	17,7	38,343	35,89	6,83
5	havu18	47,5	97,7	17,6	39,851	37,46	6,37
keskiarvo=							6,57

6.3 ENSIMMÄINEN KOESARJA

Toisessa koesarjassa tutkittiin 20 mm:n koivuvaneria, jossa pintaviilut olivat jännevälin suuntaan ja 24 mm:n koivuvaneria, jossa pintaviilut olivat jänneväliä vastaan.

6.3.1 Koivuvaneri 20 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaan

Koekappaleiden tiheydeksi säilytyskosteudessa saatiin 587 kg/m³, joka pienempi kuin kirjallisuudesta saatavat arvot koivuvanerille, joissa koivuvanerille annetaan tiheydeksi noin 650 kg/m³. Mitattu arvo vastaa sekavanerin tiheyttä. Saadut mittaustulokset on esitetty taulukossa 6.5. Kosteusnäytteistä saadut arvot on esitetty taulukossa 6.6. Vanerin säilytyskosteuspitoisuus oli noin 7,6 %.

Taulukko 6.5. 20 mm:n koivuvanerinäytteiden mitat.

	Tunnus	Pituus	Leveys	Paksuus	Paino	Tiheys
		mm	mm	mm	g	kg/m ³
1	koivu20s1	345	97,8	19,9	395,7	589
2	koivu20s2	345	97,8	20,0	395,3	586
3	koivu20s3	345	97,9	20,0	394,1	583
4	koivu20s4	345	97,5	20,0	391,7	582
5	koivu20s5	345	97,8	19,9	399,1	594
keskiarvo=				20,0	keskiarvo=	587

Taulukko 6.6. 20 mm:n koivuvanerin kosteusnäytteiden mittaustulokset.

		Pituus	Leveys	Paksuus	Paino al.	2 vrk. kuiv.	Kosteus
		mm	mm	mm	g	g	%
1	koivu20	49,3	97,3	20,0	57,13	53,16	7,47
2	koivu20	49,3	97,3	20,0	55,78	51,90	7,51
3	koivu20	48,5	97,9	19,8	55,40	51,40	7,74
4	koivu20	49,3	97,8	19,9	56,10	52,14	7,58
5	koivu20	49,4	98,0	20,0	55,70	51,81	7,48
keskiarvo=							7,55

6.3.2 Filmipintainen koivuvaneri 24 mm, pintaviilujen syyt jänneväliä vastaan

Koekappaleiden tiheydeksi säilytyskosteudessa saatiin 618 kg/m³, joka pienempi kuin kirjallisuudesta saatavat arvot koivuvanerille, joissa koivuvanerille annetaan tiheydeksi noin 650 kg/m³. Saadut mittaustulokset on esitetty taulukossa 6.7. Kosteusnäytteistä saadut arvot on esitetty taulukossa 6.8. Vanerin säilytyskosteuspitoisuudeksi saatiin noin 7,5 %.

Taulukko 6.7. 24 mm:n filmipintaisen koivuvanerin mitat.

	Tunnus	Pituus	Leveys	Paksuus	Paino	Tiheys
		mm	mm	mm	g	kg/m
1	koivuf24p1	345	97,8	23,5	485,3	612
2	koivuf24p2	345	97,9	23,6	485,0	608
3	koivuf24p3	345	97,8	23,4	494,7	627
4	koivuf24p4	345	97,8	23,6	492,1	618
5	koivuf24p5	345	97,8	23,5	495,2	624
keskiarvo=				23,5	keskiarvo=	618

Taulukko 6.8. 24 mm:n koivuvanerin kosteusnäytteiden mittaustulokset.

		Pituus	Leveys	Paksuus	Paino al.	2 vrk. kuiv.	Kosteus
		mm	mm	mm	g	g	%
1	koivuf24	49,4	97,6	23,4	69,5	64,7	7,37
2	koivuf24	49,4	104,0	23,5	74,6	69,3	7,78
3	koivuf24	51,0	97,8	23,4	70,9	66,0	7,46
4	koivuf24	49,3	97,9	23,6	68,3	63,6	7,40
5	koivuf24	45,3	104,0	23,5	68,5	63,6	7,65
keskiarvo=							7,53

6.4 TOINEN KOESARJA

Kolmannessa koesarjassa tutkittiin 24 mm:n fenolifilmipintaista koivuvaneria, jossa pintaviilut olivat jännevälin suuntaan ja vanerin pinta oli rikottu. Viiteen näytteeseen sahattiin sirkkelillä kaksi pituussuuntaista uraa, ja viiden näytteen pinta rikottiin poraamalla niihin reikiä. Koska tässä koesarjassa kaikki kymmenen näytettä oli samanlaista vaneria, otettiin yhteiset kosteusnäytteet, joiden tulokset on esitetty taulukossa 6.9. Vanerin säilytyskosteuspitoisuudeksi saatiin 9,1 %.

Taulukko 6.9. 24 mm:n koivuvanerin kosteusnäytteiden mittaustulokset.

		Pituus	Leveys	Paksuus	Paino al.	2 vrk. kuiv.	Kosteus
		mm	mm	mm	g	g	%
1	koivuf24	50,1	97,7	23,7	69,69	63,47	9,80
2	koivuf24	50,5	97,7	23,7	71,28	65,10	9,50
3	koivuf24	49,3	97,7	23,4	69,12	63,54	8,78
4	koivuf24	50,5	97,6	23,4	69,12	63,77	8,39
5	koivuf24	50,5	97,6	23,4	70,98	65,25	8,79
keskiarvo =							9,05

6.4.1 Filmipintainen koivuvaneri 24 mm, vanerin pintaan sahattu uria

Koekappaleiden tiheydeksi säilytyskosteudessa saatiin 614 kg/m^3 , joka pienempi kuin kirjallisuudesta saatavat arvot koivuvanerille, joissa koivuvanerille annetaan tiheydeksi noin 650 kg/m^3 . Näytteisiin sahattiin sirkkelillä kaksi pituussuuntaista uraa, joilla oli tarkoitus rikkoa fenolifilmipinta. Saadut mittaustulokset on esitetty taulukossa 6.10.

Taulukko 6.10. 24 mm:n koivuvanerin mitat.

	Tunnus	Pituus	Leveys	Paksuus	Paino	Tiheys
		mm	mm	mm	g	kg/m
1	koivuf24s1	345	97,7	23,5	491,5	621
2	koivuf24s2	345	97,7	23,5	483,8	611
3	koivuf24s3	345	97,7	23,7	486,1	609
4	koivuf24s4	345	97,7	23,6	490,7	617
5	koivuf24s5	345	97,7	23,5	486,0	614
keskiarvo=				23,6	keskiarvo=	614

6.4.2 Filmipintainen koivuvaneri 24 mm, vaneriin porattu reikiä

Koekappaleiden tiheydeksi säilytyskosteudessa saatiin 613 kg/m^3 , joka pienempi kuin kirjallisuudesta saatavat arvot koivuvanerille, joissa koivuvanerille annetaan tiheydeksi noin 650 kg/m^3 . Saadut mittaustulokset on esitetty taulukossa 6.11.

Taulukko 6.11. 24 mm:n koivuvanerin mitat.

	Tunnus	Pituus	Leveys	Paksuus	Paino	Tiheys
		mm	mm	mm	g	kg/m
1	koivuf24s6	345	97,7	23,6	482,7	607
2	koivuf24s7	345	97,7	23,6	482,0	606
3	koivuf24s8	345	97,7	23,6	484,2	609
4	koivuf24s9	345	97,7	23,6	495,9	623
5	koivu2f4s10	345	97,7	23,5	490,5	619
keskiarvo=				23,6	keskiarvo=	613

6.5 KOLMAS KOESARJA

Neljännessä koesarjassa tutkittiin 18 mm:n vanereita. Koestuksia varten sahattiin 36 vanerinäytettä siten, että koivuvanereita sahattiin 12 kpl, kuuden pintaviilut jännevälin suuntaan ja kuuden jänneväliä vastaan. Havu- ja combivanereita sahattiin sama määrä ja samalla tavalla. Kosteusnäytteitä otettiin viisi kustakin vanerilaadusta. Näytteet sahattiin 6.10.1995.

6.5.1 Koivuvaneri 18 mm

Pintaviilujen syynsuuntaan(s) kuormitettavien koekappaleiden tiheydeksi säilytyskosteudessa saatiin 718 kg/m³, ja pintaviilujen syiden suuntaa vastaan(p) kuormitettavien koekappaleiden tiheydeksi saatiin 715 kg/m³. Saadut arvot ovat suurempia kuin kirjallisuudesta saatavat arvot, jossa koivuvanerille annetaan tiheydeksi noin 650 kg/m³. Saadut mittaustulokset on esitetty taulukossa 6.12. Kosteusnäytteistä saadut arvot on esitetty taulukossa 6.13. Koivuvanerin säilytyskosteuspitoisuudeksi on saatiin 8,9 %.

Taulukko 6.12. 18 mm:n koivuvanerinäytteiden mitat.

	Tunnus	Pituus	Leveys	Paksuus	Paino	Tiheys
		mm	mm	mm	g	kg/m³
1	koivu18s1	345	98,2	17,7	427,2	712
2	koivu18s2	345	98,3	17,7	431,3	719
3	koivu18s3	345	98,2	17,8	434,6	721
4	koivu18s4	345	98,2	17,8	435,1	722
5	koivu18s5	345	98,3	17,7	432,5	720
6	koivu18s6	345	98,1	17,8	429,9	714
keskiarvo=				17,8	keskiarvo=	718

	Tunnus	Pituus	Leveys	Paksuus	Paino	Tiheys
		mm	mm	mm	g	kg/m³
1	koivu18p1	345	98,1	17,8	428,7	712
2	koivu18p2	345	98,1	17,7	425,0	709
3	koivu18p3	345	98,0	17,7	428,0	715
4	koivu18p4	345	98,1	17,7	428,0	714
5	koivu18p5	345	98,1	17,7	431,1	720
6	koivu18p6	345	98,0	17,7	430,3	719
keskiarvo=				17,7	keskiarvo=	715

Taulukko 6.13. 18 mm:n koivuvanerin kosteusnäytteiden mittaustulokset.

		Pituus	Leveys	Paksuus	Paino al.	2 vrk. kuiv.	Kosteus
		mm	mm	mm	g	g	%
1	koivu18	50,4	98,1	17,7	62,90	57,86	8,80
2	koivu18	50,5	98,0	17,7	63,21	58,09	8,81
3	koivu18	50,3	98,1	17,7	63,35	58,21	8,83
4	koivu18	50,0	98,1	17,6	62,63	57,45	9,01
5	koivu18	49,9	98,1	17,8	62,38	57,31	8,84
keskiarvo =							8,86

6.5.2 Havuvaneri 18 mm

Pintaviilujen syynsuuntaan(s) kuormitettavien koekappaleiden tiheydeksi säilytyskosteudessa saatiin 520 kg/m³, ja pintaviilujen syiden suuntaa vastaan(p) kuormitettavien koekappaleiden tiheydeksi saatiin 511 kg/m³. Molemmat arvot ovat hieman suuremmat kuin kirjallisuudesta saatavat arvot kuusivanerille, jossa sille annetaan tiheydeksi noin 450 kg/m³. Saadut mittaustulokset on esitetty taulukossa 6.12. Kosteusnäytteistä saadut arvot on esitetty taulukossa 6.15. Havuvanerin säilytyskosteuspitoisuudeksi on saatiin 8,9 %.

Taulukko 6.14. 18 mm:n havuvanerinäytteiden mitat.

	Tunnus	Pituus	Leveys	Paksuus	Paino	Tiheys
		mm	mm	mm	g	kg/m
1	havu18s1	345	98,2	17,8	317,7	527
2	havu18s2	345	98,1	17,8	324,8	539
3	havu18s3	345	98,2	17,8	311,2	516
4	havu18s4	345	98,1	17,9	306,4	506
5	havu18s5	345	98,0	17,9	305,4	505
6	havu18s6	345	98,0	17,9	320,4	529
keskiarvo=				17,9	keskiarvo=	520

	Tunnus	Pituus	Leveys	Paksuus	Paino	Tiheys
		mm	mm	mm	g	kg/m
1	havu18p1	345	98,1	17,9	308,7	510
2	havu18p2	345	98,1	18,0	313,6	515
3	havu18p3	345	98,1	17,9	311,8	515
4	havu18p4	345	98,1	17,9	307,0	507
5	havu18p5	345	98,1	17,9	306,2	505
6	havu18p6	345	98,0	17,9	312,9	517
keskiarvo=				17,9	keskiarvo=	511

Taulukko 6.15. 18 mm:n havuvanerin kosteusnäytteiden mittaustulokset.

		Pituus	Leveys	Paksuus	Paino al.	2 vrk. kuiv.	Kosteus
		mm	mm	mm	g	g	%
1	havu18	50,6	98,1	17,8	46,03	42,27	8,88
2	havu18	50,1	98,1	17,8	45,86	42,11	8,91
3	havu18	50,3	98,0	17,8	46,43	42,64	8,89
4	havu18	50,1	98,1	17,8	45,36	41,67	8,86
5	havu18	50,3	98,1	17,8	44,59	40,97	8,83
keskiarvo =						8,87	

6.5.3 Sekavaneri 18 mm

Pintaviilujen syynsuuntaan(s) kuormitettavien koekappaleiden tiheydeksi säilytyskosteudessa saatiin 579 kg/m³, ja pintaviilujen syiden suuntaa vastaan(p) kuormitettavien koekappaleiden tiheydeksi saatiin 573 kg/m³. Kirjallisuudessa ei anneta sekavanerille mitään varsinaisia arvoja, vaan sanotaan tiheyden olevan koivu- ja havuvanerin välissä, jossa myös mitattujen vanereiden tiheydet ovat. Saadut mittaustulokset on esitetty taulukossa 6.16. Kosteusnäytteistä saadut arvot on esitetty taulukossa 6.17. Combivanerin säilytyskosteuspitoisuudeksi on saatiin 10,7 %.

Taulukko 6.16. 18 mm:n combivanerinäytteiden mitat.

	Tunnus	Pituus	Leveys	Paksuus	Paino	Tiheys
		mm	mm	mm	g	kg/m ³
1	combi18s1	345	98,2	18,0	345,4	566
2	combi18s1	345	98,2	18,0	352,6	578
3	combi18s1	345	98,1	18,0	352,1	578
4	combi18s1	345	98,1	18,0	355,6	584
5	combi18s1	345	98,1	18,0	355,3	583
6	combi18s1	345	98,0	18,0	356,9	587
keskiarvo=				18,0	keskiarvo=	579

	Tunnus	Pituus	Leveys	Paksuus	Paino	Tiheys
		mm	mm	mm	g	kg/m ³
1	combi18p1	345	98,2	18,1	348,0	568
2	combi18p1	345	98,1	18,1	354,8	579
3	combi18p1	345	98,2	18,0	341,9	561
4	combi18p1	345	98,1	18,0	350,4	575
5	combi18p1	345	98,1	18,1	357,5	584
6	combi18p1	345	98,3	18,2	352,4	571
keskiarvo=				18,1	keskiarvo=	573

Taulukko 6.17. 18 mm:n Combivanerin kosteusnäytteiden mittaustulokset.

		Pituus	Leveys	Paksuus	Paino al.	2 vrk. kuiv.	Kosteus
		mm	mm	mm	g	g	%
1	combi18	50,0	98,2	18,0	50,25	45,39	10,69
2	combi18	50,2	98,3	18,0	51,83	46,78	10,81
3	combi18	50,0	98,3	18,0	50,05	45,26	10,59
4	combi18	50,2	98,2	18,0	51,79	46,78	10,71
5	combi18	50,2	98,2	18,0	53,56	48,44	10,62
						keskiarvo =	10,68

6.6 VEDENIMUKOKEISSA KÄYTETYT VANERIT

Näytteet olivat 24 mm:n filmipintaista koivuvaneria ja niiden koko oli noin 100*100 mm². Vedenimukoe suoritettiin astiassa, jossa oli vettä noin 2 mm. Koekappaleita oli kummassakin vedenimukokeessa 6 kpl.

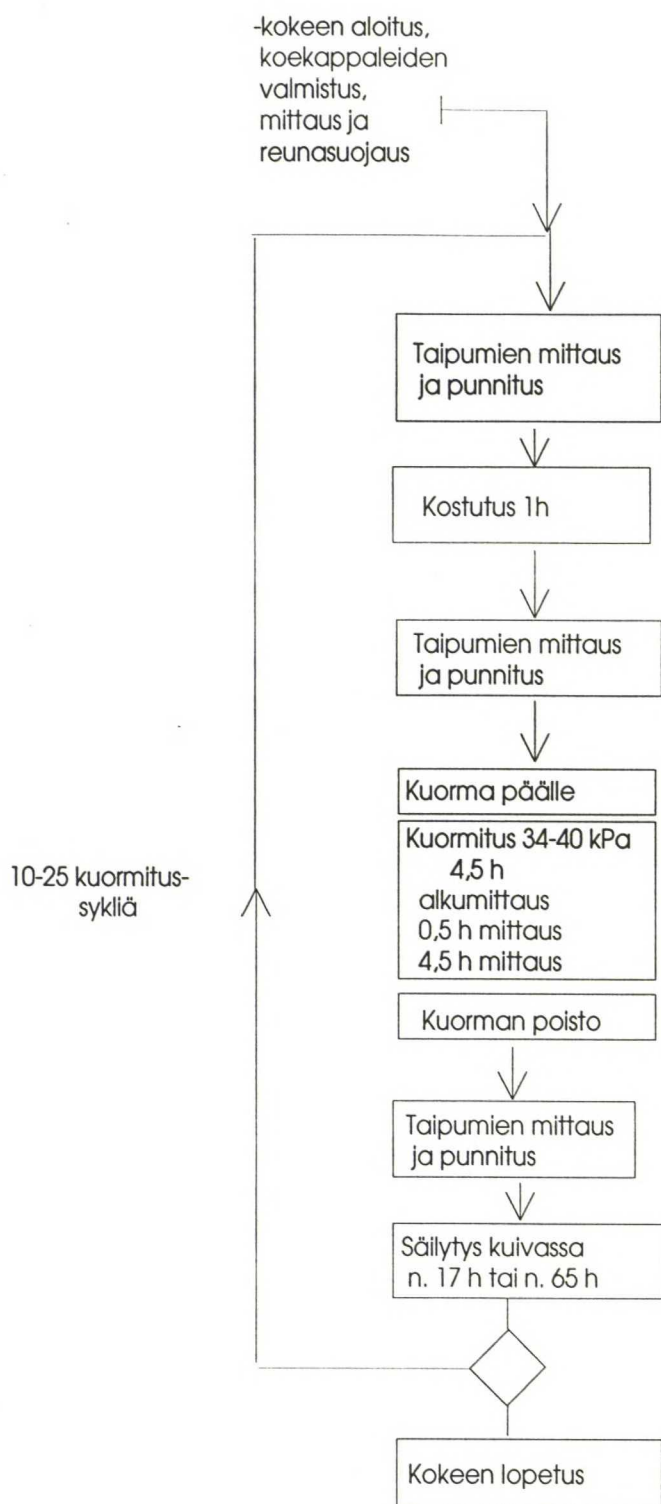
7 VANERIEN TESTAUS

7.1 VALUA JÄLJITTELEVÄ KOE

Kerralla voidaan testata kymmenen koekappaletta. Kokeet suoritetaan siten, että yhdellä kertaa koestetaan kahta erilaista vaneria, joista kummastakin on viisi samanlaista koekappaletta. Vanerien sahaus suoritetaan isosta levystä, josta samalla otetaan myös viisi kosteusnäytettä vanerin alkukosteuden selvittämiseksi. Koekappaleita sahataan 5 kpl $100 \times 350 \text{ mm}^2$ ja kosteusnäytteitä 5 kpl $50 \times 100 \text{ mm}^2$.

Ennen koestuksen aloittamista koekappaleiden reunat suojataan siiiikonilla, jotta kosteuden imeytyminen reunoista voidaan estää. Vanerien kosteuskäyttäytyminen pyritään saamaan samanlaiseksi kuin muottivanerilla on todellisessa valutilanteessa. Vanerin kosteusprosentti laskettiin kaavalla (2).

Vanereiden mittausten eteneminen on esitetty kuvassa 7.1



Kuva 7.1. Vanereiden mittaus.

7.1.1 Taipumien mittaus

Taipumien mittaus suoritetaan mittasillalla, jonka jänneväli on 225 mm. Vanerien taipumat mitataan ennen kostutusta, jotta saadaan ensimmäisellä syklillä alkutilanne

selville, ja seuraavien päivien mittauksissa vanerien palautuminen yön tapahtuneen levon ja kuivumisen jälkeen. Toinen mittaus tehdään kostutuksen jälkeen, jolloin vanerit ovat taipuneet toispuoleisen kostutuksen seurauksena sisäänpäin, kolmas mittaus kuormituksen asettamisen jälkeen, jolloin on saavutettu koestuksessa käytettävä paine. Koestuspaineen saavuttaminen kestää noin 10-15 minuuttia, veden laskemisen aloittamisesta. Neljäs mittaus suoritetaan 30 min kuormituksen jälkeen, jolloin on saavutettu jo lähes maksimitaipuma. Ennen kuormituksen poistamista mitataan koekappaleiden maksimitaipuma. Kuormituksen poiston jälkeen saadaan näytteiden taipuma lepotilanteessa.

7.1.2 Painon muutokset

Koekappaleiden painon muutosta seurataan mittaamalla koekappaleiden paino ennen kostutusta, jolloin alussa saadaan koekappaleiden kuivapaino ja seuraavien päivien mittauksissa vanerin paino yön yli tapahtuneen kuivatuksen jälkeen. Toinen painon mittaus suoritetaan tunnin kestäneen kostutuksen jälkeen, josta nähdään kuinka paljon vanerit ovat imeneet vettä. Kolmas punnitus tehdään koekappaleiden kuormituksen jälkeen, jolloin nähdään kuinka näytteiden paino on muuttunut kuormituksen aikana.

7.1.3 Muut mittaukset

Muita suoritettavia mittauksia on koehallin lämpötilan seuranta. Koestuslaatikon lämpötilan mittaus, jotta varmistutaan lämmityslaitteen toiminnasta ja koekappaleiden kuivatuspaikan lämpötila.

7.2 VEDENIMUKOKEET

Muottivanerin kulumisen ja reikien vaikutusten selvittämiseksi suoritettiin kaksi vedenimukoetta. Kummassakin kokeessa käytettiin kuutta koekappaletta. Näytteet olivat 24 mm:n filmipintaista koivuvaneria ja niiden koko oli noin 100*100 mm². Vedenimukoe suoritettiin astiassa, jossa oli vettä noin 2 mm. Koekappaleiden reunat oli käsitelty silikonilla, jotta vedenimu tapahtuisi pelkästään näytteiden alapinnasta.

Ensimmäisessä kokeessa näytteitä hiottiin erimääriä ja kostutuksessa käytettiin samaa tapaa kuin varsinaisillakin koekappaleilla eli niitä pidettiin toiselta puolelta vesiupotuksessa yhden tunnin ajan jonka jälkeen ne laitettiin märän paperin päälle samaksi ajaksi kuin valukoe kesti, sen jälkeen niiden annettiin kuivua. Tässä kokeessa ennakkoon oletettuja eroja ei syntynyt. Syyksi arveltiin fenolifilmipinnan vaikutuksen

ulottumisen niin syväälle, että tämän suuruisella hionnalla ei ollut vaikutusta pinnan vedenimukykyyn.

Toisessa vedenimukokeessa koekappaleita pidettiin koko ajan vedessä eli niiden ei annettu välillä kuivua. Yhden näytteen pinta jätettiin vertailun vuoksi ehjäksi, muiden pinta rikottiin. Toiseen koekappaleeseen tehtiin viilun suuntainen sahaus noin 1mm:n syvyydelle sahausjäljen leveyden ollessa noin 2 mm. Sahaus ulottui koko näytteen pinnan yli. Kolmanteen näytteeseen tehtiin kaksi edellisen kaltaista sahausta. Näytteisiin neljä-kuusi iskettiin jokaiseen yksi naulan reikä, reikien ulottuessa koekappaleen puoliväliin. Reikien teossa käytettiin kolmea erikokoista naulaa.

8 SAADUT TULOKSET

8.1 ESIKOKEET

Esikokeessa testattiin koelaitteen toimintaa, jotta voitiin varmistua sen ja mittausmenetelmien toimivuudesta. Ensimmäisellä yrityksellä, kun koelaatikkoon alettiin laskea vettä, alkoi laatikon saumat vuotaa. Vuoto oli niin runsasta, että kaikki laatikkoon laskettu vesi oli muutamassa minuutissa valunut koehallin lattialle. Syyksi vuotoon todettiin muovikalvojen välissä olleen silikonitiivisteiden pettämisen.

Koelaatikko avattiin ja silikonitiivisteiden tilalle laitettiin Sikaflex-nimistä saumausmassaa. Tämä toimi huomattavasti paremmin, joten koestuslaatikkoon saatiin haluttu vedenpaine 40 kN/m^2 . Kuitenkin on huomattavaa, että täyttövaiheessa alkoi esiintyä vuotoa saumoista, mikäli täyttönopeus oli liian suuri. Tästä syystä veden laskemiseen käytetään noin viisitoista minuuttia täytön aloittamisesta täyden paineen saavuttamiseen. Nopea täyttönopeus aiheuttaa vuodon koelaatikon reunoista, koska vesi ei ehdi siirtyä riittävän nopeasti pitkässä ja ohuessa muoviputkessa. Tällöin koelaatikkoon syntyy ylipaine, jonka seurauksena saumat alkavat vuotaa. Kun on saavutettu haluttu loppupaine, eikä laatikkoon lasketa vettä, saumojen vuoto lakkaa.

Esikokeessa koekappaleina oli 15 mm:n koivuvaneri ja 18 mm:n havuvaneri, kummatkin näytteet oli sahattu siten, että pintaviilujen syiden suunta oli kuormituksen jännevälin suuntaan. Mittaukset suoritettiin 19.4-3.5.1995. Kokeita tehtiin kymmenen sykliä arkipäivisin. Aamulla koekappaleet laitettiin tunniksi astiaan, jossa oli vettä noin 2 mm siten, että koestuspuoli oli vedessä, tämän jälkeen taipumat mitattiin. Sen jälkeen ne laitettiin koestukseen, jossa ne olivat noin neljä ja puoli tuntia. Taipumat mitattiin tänä aikana kolmesti, kun oli saavutettu koestuspaine, puolen tunnin koestuksen jälkeen ja ennen paineen poistamista. Lopuksi mitattiin näytteiden taipumat, kuormituksen jälkeen lepotilassa. Yön ja viikonlopun koekappaleet saivat olla lepotilassa ja kuivua. Paineena koesarjassa oli 40 kN/m^2 ja koestuslaatikon lämpötila oli 40°C .

8.1.1 Koivuvaneri 15 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaan

Jo heti kokeen alussa huomattiin, että maksimitaipumat koestuksessa kasvoivat suuriksi. Syynä ilmeisesti oli se, että koestuslaatikossa vaneri käyttäytyy yksiaukkoisesti, eikä jatkuvana niinkuin yleensä seinämuotissa. Heti ensimmäisellä syklillä maksimitaipumat kasvoivat 2-4 mm:n niin, että yhden koekappaleen taipuma oli lähes kaksinkertainen muihin verrattuna. Näin kaikki muottivanerille asetetut taipumarajat ylittyivät jo ensimmäisellä syklillä, sillä kahden millimetrin taipuma vastaan jo taipumaa $L/150$, joka

on muottivanerin kelpoisuuden alin hyväksymisraja. Maksimitaipumat on esitetty taulukossa 8.1. Koetta päätettiin kuitenkin jatkaa, jotta saataisiin selville tietoa vanerin käyttäytymisestä toistuvissa kuormituksissa, ja jotta voitiin varmistua koestuslaitteen toiminnasta.

Suurien alkutaipumien jälkeen vanerin maksimitaipumien kasvu seuraavissa sykleissä tapahtui huomattavasti hitaammin. Maksimitaipumat kasvoivat jokaisella uudella kuormitusytkillä keskimäärin noin 0,2- 0,3 mm. Kymmenen syklin jälkeen maksimitaipumat olivat 4- 8 mm eli taipumat olivat kasvaneet kaksinkertaisiksi siitä mitä ne olivat ensimmäisellä sytkillä. Jälleen yhden vanerin taipuma poikkesi selvästi muista, ollen yli 2,5 mm suurempi kuin seuraavaksi eniten taipuneen koekappaleen.

Taulukko 8.1. 15 mm:n koivuvanerin taipumien kasvu. Arvot mitattu, kun paine on ollut päällä 4,5 tuntia.

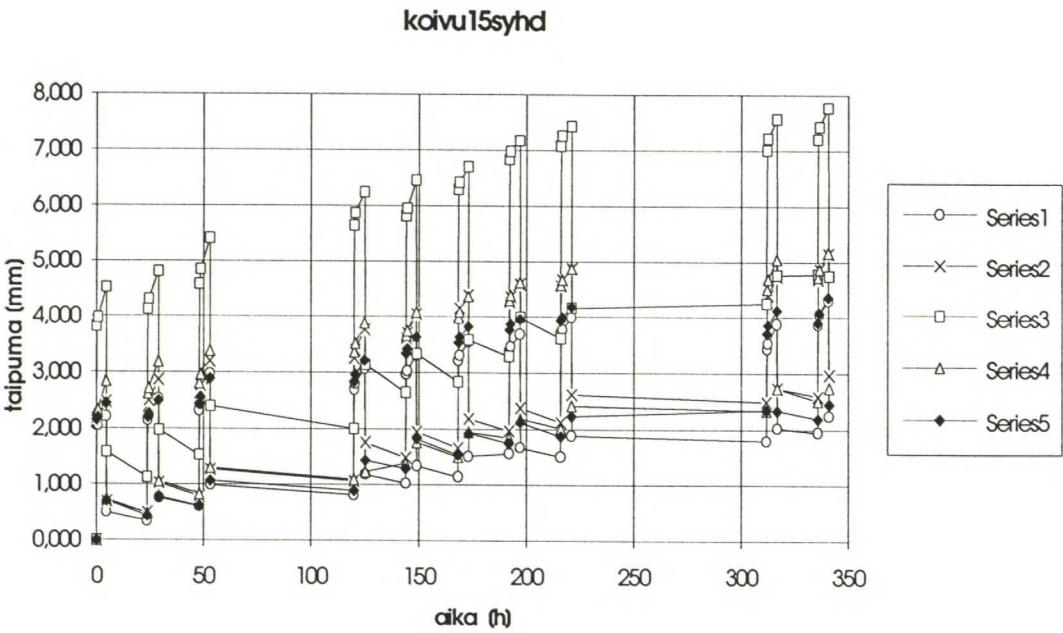
	vaneri	p=40 kPa	t=40°C	ko15s1	ko15s2	ko15s3	ko15s4	ko15s5	keskiarvo
	koivu15s	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm
1	päällä	19/04 15:30	5	2,21	2,47	4,52	2,83	2,45	3,07
2	- -	20/04 15:55	29	2,54	2,86	4,81	3,18	2,49	3,34
3	- -	21/04 15:45	53	2,97	3,19	5,41	3,38	2,88	3,72
4	- -	24/04 15:50	125	3,07	3,76	6,24	3,88	3,21	4,28
5	- -	25/04 15:30	149	3,31	4,05	6,45	4,07	3,63	4,55
6	- -	26/04 15:40	173	3,54	4,40	6,69	4,37	3,82	4,82
7	- -	27/04 15:40	197	3,69	4,60	7,17	4,63	3,96	5,09
8	- -	28/04 15:40	221	3,99	4,88	7,44	4,88	4,18	5,34
9	- -	02/05 15:35	317	3,88	4,74	7,57	5,05	4,12	5,37
10	- -	03/05 15:40	341	4,31	5,16	7,78	5,17	4,36	5,62

Verrattaessa koekappaleiden pysyviä taipumia eli niitä taipuma-arvoja, joita vanereilla oli lepotilanteessa huomataan, että myös ne kasvoivat kuormitusytklien edetessä, joten vanereihin syntyi pysyviä muodonmuutoksia. Ensimmäisen kuormituksen jälkeen lopputaipumat olivat 0,5-1,5 mm, mutta yön yli tapahtuneen lepojakson jälkeen taipumat olivat pienentyneet 0,3-1.1 mm:iin. Seuraavien sytklien aikana nämä arvot kasvoivat keskimäärin 0,1-0,2 mm. Yön kestäneen lepojakson aikana vaneri palautui keskimäärin 0,1 mm. Taulukossa 8.2 on pysyvien taipumien kehittyminen eli arvot on mitattu aamuisin, kun vanerit ovat olleet lepotilassa.

Taulukko 8.2. 15 mm:n koivuvanerin pysyvien taipumien kasvu. Arvot on mitattu ennen paineen päälle laittamista.

vaneri	p=40 kPa	t=40°C	ko15s1	ko15s2	ko15s3	ko15s4	ko15s5	keskiarvo
koivu15s	aika	aika	taipuma	taipuma	taipuma	taipuma	taipuma	taipuma
	pp/kk tt:mm	tuntia	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	alku	19/04 10:50	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	- -	20/04 10:40	24	0,34	0,49	1,12	0,48	0,63
3	- -	21/04 10:45	48	0,60	0,79	1,53	0,83	0,94
4	- -	24/04 10:40	120	0,81	1,06	2,01	1,09	1,26
5	- -	25/04 10:45	144	1,03	1,49	2,65	1,39	1,70
6	- -	26/04 10:45	168	1,14	1,66	2,83	1,50	1,88
7	- -	27/04 10:40	192	1,56	1,97	3,29	1,85	2,22
8	- -	28/04 10:40	216	1,51	2,13	3,61	2,02	2,41
9	- -	02/05 10:45	312	1,80	2,50	4,24	2,34	2,86
10	- -	03/05 10:45	336	1,95	2,60	4,78	2,52	3,02

Kuvassa 8.1 on esitetty 15 mm:n koivuvanerin taipumat graafisesti. Siinä nähdään selvästi yhden näytteen muista poikkeava käyttäytyminen. Muut neljä koekappaletta käyttäytyvät hyvin samankaltaisesti.



Kuva 8.1. 15 mm:n koivuvanerin taipumat.

8.1.2 Havuvaneri 18 mm, pintaviilujen syyt jännevälän suuntaan

Havuvanerin taipumat kasvoivat ensimmäisellä kuormitusylläillä 1,8-2,6 mm:iin. Seuraavilla kuormituskerroilla maksimitaipumat kasvoivat 0,3-0,5 mm. Kymmenen kuormitusyllän jälkeen maksimitaipumat olivat 4,0-5,9 mm. Havuvanerin maksimitaipumien kasvu on esitetty taulukossa 8.3. Siinä nähdään selvästi eri koekappaleiden välillä oleva suuri vaihtelu taipumissa.

Taulukko 8.3. 18 mm:n havuvanerin taipumien kasvu. Arvot mitattu, kun paine on ollut päällä 4,5 tuntia.

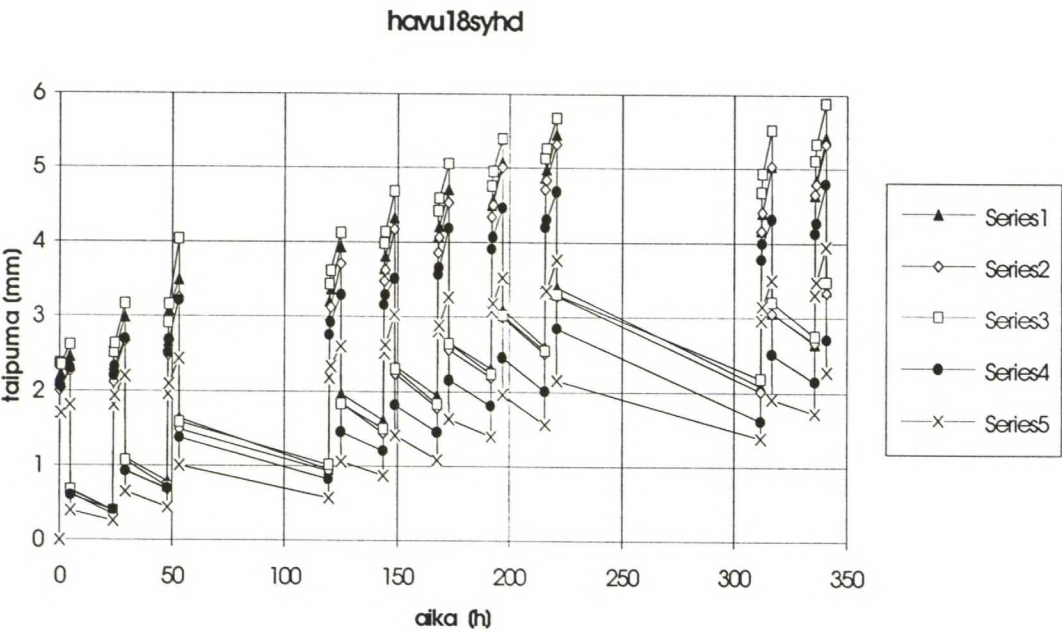
	vaneri	p=40 kPa	t=40°C	ha18s1	ha18s2	ha18s3	ha18s4	ha18s5	keskiarvo
	havu18s	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm
1	päällä	19/04 15:30	5	2,46	2,27	2,61	2,30	1,81	2,29
2	— —	20/04 15:55	29	2,98	2,66	3,16	2,69	2,20	2,74
3	— —	21/04 15:45	53	3,49	3,25	4,03	3,21	2,43	3,28
4	— —	24/04 15:50	125	3,93	3,71	4,12	3,29	2,60	3,53
5	— —	25/04 15:30	149	4,33	4,17	4,68	3,51	3,02	3,94
6	— —	26/04 15:40	173	4,70	4,53	5,05	4,18	3,26	4,34
7	— —	27/04 15:40	197	5,07	5,01	5,39	4,47	3,53	4,69
8	— —	28/04 15:40	221	5,45	5,32	5,68	4,68	3,76	4,98
9	— —	02/05 15:35	317	5,03	5,03	5,53	4,32	3,50	4,68
10	— —	03/05 15:40	341	5,42	5,33	5,89	4,79	3,95	5,08

Verrattaessa koekappaleiden pysyviä taipumia eli niitä taipuma-arvoja, joita vanereilla oli lepotilanteessa huomataan, että myös ne kasvoivat kuormitusyllien edetessä, joten vanereihin syntyi pysyviä muodonmuutoksia. Ensimmäisen kuormituksen jälkeen lopputaipumat olivat 0,4-0,7 mm, mutta yön yli tapahtuneen lepojakson jälkeen taipumat olivat pienentyneet 0,3-0,4 mm:iin. Seuraavien syklien aikana nämä arvot kasvoivat keskimäärin 0,2-0,4 mm. Yön kestäneen lepojakson aikana vaneri palautui keskimäärin 0,2-0,5 mm, viikonloppuisin olleen pitemmän lepojakson jälkeen palautuminen oli vielä suurempaa jopa 1,3 mm. Taulukossa 8.4 on esitetty pysyvien taipumien kehittyminen. Arvot on mitattu aamuisin, kun vanerit ovat olleet lepotilassa.

Taulukko 8.4. 18 mm:n havuvanerin pysyvien taipumien kasvu. Arvot on mitattu ennen paineen päälle laittamista.

vaneri	p=40 kPa	t=40°C	ha18s1	ha18s2	ha18s3	ha18s4	ha18s5	keskiarvo
havu18s	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm
1	alku	19/04 10:50	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	- -	20/04 10:40	24	0,39	0,34	0,39	0,40	0,25
3	- -	21/04 10:45	48	0,79	0,68	0,71	0,69	0,44
4	- -	24/04 10:40	120	0,95	0,93	1,01	0,82	0,57
5	- -	25/04 10:45	144	1,62	1,44	1,51	1,20	0,87
6	- -	26/04 10:45	168	1,94	1,79	1,83	1,46	1,08
7	- -	27/04 10:40	192	2,31	2,19	2,24	1,81	1,40
8	- -	28/04 10:40	216	2,60	2,51	2,55	2,01	1,57
9	- -	02/05 10:45	312	2,09	2,02	2,18	1,62	1,39
10	- -	03/05 10:45	336	2,65	2,67	2,75	2,15	1,73

Havuvanerin taipumakuvasta 8.2 nähdään, että koekappaleen ha18s5 taipumat on muita selvästi pienempiä. Vanereiden ollessa lepotilanteessa tapahtuu palautumista.



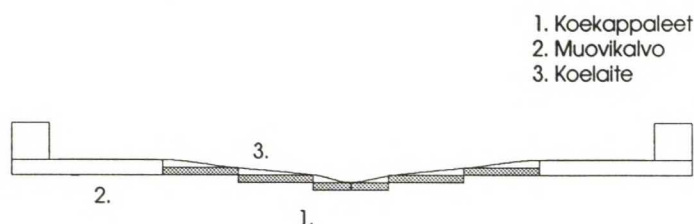
Kuva 8.2. 18 mm:n havuvanerin taipumat.

8.1.3 ESIKOKEIDEN TULOSTEN ARVIOINTI

Esikokeissa olleiden 15 mm:n koivuvanereiden keskimääräinen taipuma maksimipaineen alaisena kasvoi kymmenellä kuormitusyklillä 5,6 mm:iin eli ylitti kaikki muottivanereille annetut suurimmat sallitut taipumat monikertaisesti. Pysyvät muodonmuutokset kasvoivat 3 mm:iin. 18 mm:n havuvanereiden keskimääräinen taipuma rasituksessa kymmenellä syklillä kasvoi 5,1 mm:iin eli oli samaa suuruusluokka kuin 15 mm:n koivuvanerilla, pysyvä muodonmuutos nousi 2,4 mm:iin.

Syynä suuriin taipumiin oli monia, tässä kokeessa käytettiin ohuita vanerilevyjä, ja suurta kuormaa (40 kPa), lisäksi koekappaleiden reunasuojauksia ei ollut. Esikokeissa saadut tulokset eivät ole luotettavia. Tästä huolimatta voidaan todeta, että esikokeilla voitiin varmistua koestuslaitteen toiminnasta ja sen kuormituksen kestävydestä.

Koetuloksia tarkastelemalla voidaan havaita, että suurimmat taipumat tulivat keskellä olleisiin koekappaleisiin. Muovikalvon toimintaa, joka pitää vedenpaineen koelaitteen sisällä, on esitetty kuvassa 8.3. Kuva on piirretty koekappaleiden tukipisteiden puolivälistä eli kohdasta, jossa taipumat ovat suurimmat. Muovikalvon kireydellä on ollut merkitystä varsinkin esikokeissa ennekuin siihen on syntynyt venymistä siten, että reunimmaisten koekappaleiden taipuma on ollut pienempi kuin se muuten olisi ollut.



Kuva 8.3. Muovikalvon toiminta.

8.2 ENSIMMÄINEN KOESARJA

Ensimmäisessä koesarjassa koekappaleina oli 20 mm:n koivuvaneri ja 24 mm:n fenolifilmipintainen koivuvaneri. 20 mm:n koivuvaneri oli sahattu siten, että pintaviilujen syiden suunta oli kuormituksen jännevälän suuntaan. 24 mm:n koivuvaneri oli sahattu pintaviilut jännevälän suuntaa vastaan. Kuormituskokeet suoritettiin 31.5-26.6.1995. Kokeita tehtiin viisitoista sykliä arkipäivisin niin, että koekappaleet saivat olla yön yli ja viikonloppuisin levossa ja kuivua.

Esikokeiden tulosten perusteella mittausjärjestelyihin tehtiin joitakin muutoksia. Vanerinäytteiden reunat käsiteltiin silikonilla, jotta veden imeytyminen reunoista voitiin estää. Koekappaleiden taipumat mitattiin aamulla myös ennen niiden laittamista kostutukseen. Vanereiden kostutusastiassa oli vettä noin 2 mm. Kostutuksessa vanerit olivat vedessä siten, että vanerien koestuspuoli oli vedessä ja toinen puoli pysyi kuivana. Kun vanereita oli kostutettu yhden tunnin ajan niiden taipumat mitattiin. Sen jälkeen ne laitettiin koestukseen, jossa ne olivat noin neljä ja puoli tuntia. Taipumat mitattiin tänä aikana kolmesti, kun oli saavutettu koestuspaine, puolen tunnin koestuksen jälkeen ja ennen paineen poistamista. Yön ja viikonlopun koekappaleet saivat olla lepotilassa ja kuivua. Paineena koesarjassa oli 40 kN/m^2 ja koestuslaatikon lämpötila oli $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ensimmäiseen koesarjaan otettiin myös mukaan koekappaleiden painon muutosten seuranta. Koekappaleiden painot mitattiin aamulla ennen kostutusta, kostutuksen jälkeen, ja iltapäivisin kun koekappaleet oli kuormitettu.

8.2.1 Koivuvaneri 20 mm, pintaviilut jännevälin suuntaan

Koivuvanerin taipumat kasvoivat ensimmäisellä kuormitusyhtälillä $0,5\text{-}0,9 \text{ mm}$:iin. Seuraavilla kuormituskerroilla maksimitaipumat kasvoivat noin $0\text{-}0,1 \text{ mm}$. Viidentoista kuormitusyhtälön jälkeen maksimitaipumat olivat $0,6\text{-}1,4 \text{ mm}$. 20 mm:n koivuvanerin maksimitaipumien kasvu on esitetty taulukossa 8.5. Näytteistä neljä käyttäytyy hyvin samankaltaisesti, ainoastaan koivu20s1:n taipuma on selvästi muita pienempi.

Taulukko 8.5. 20 mm:n koivuvanerin taipumien kasvu. Arvot mitattu, kun paine on ollut päällä 4,5 tuntia.

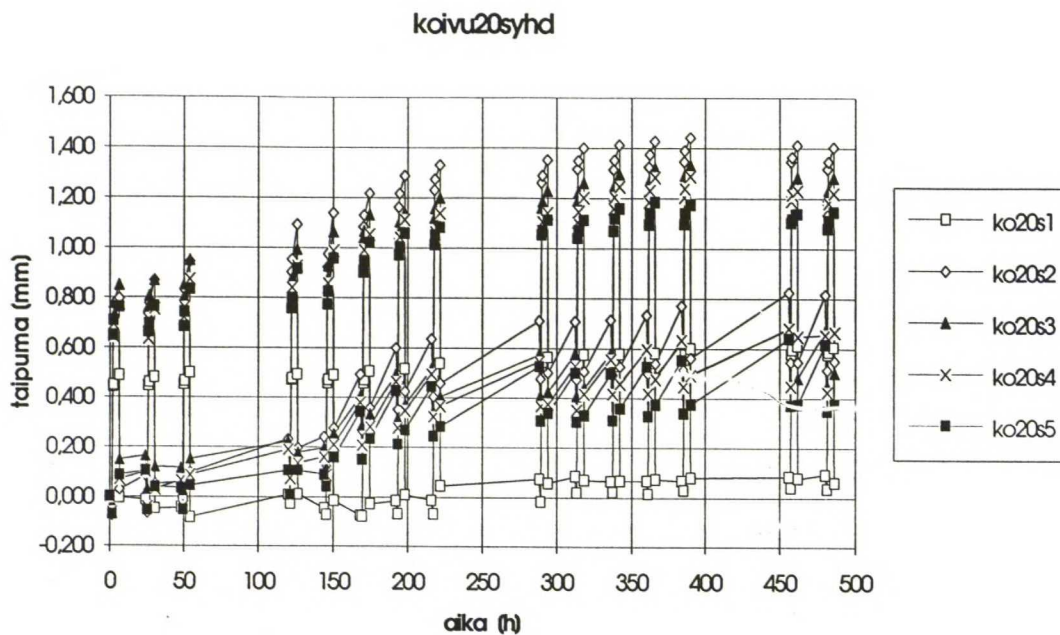
	vaneri	p=40 kPa	t=40°C	ko20s1	ko20s2	ko20s3	ko20s4	ko20s5	keskiarvo
	koivu20s	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm
1	päällä	31/05 15:40	6	0,49	0,80	0,85	0,77	0,76	0,73
2	- -	01/06 15:30	30	0,48	0,87	0,87	0,75	0,76	0,75
3	- -	02/06 15:25	54	0,50	0,95	0,95	0,87	0,83	0,82
4	- -	05/06 15:25	126	0,49	1,09	0,99	0,93	0,92	0,88
5	- -	06/06 15:30	150	0,49	1,14	1,07	0,99	0,96	0,93
6	- -	07/06 15:35	174	0,51	1,22	1,13	1,05	1,02	0,99
7	- -	08/06 15:20	198	0,52	1,29	1,14	1,11	1,06	1,02
8	- -	09/06 15:15	222	0,54	1,33	1,20	1,14	1,08	1,06
9	- -	12/06 15:15	294	0,56	1,35	1,23	1,14	1,11	1,08
10	- -	13/06 15:15	318	0,58	1,40	1,26	1,20	1,11	1,11
11	- -	14/06 15:20	342	0,58	1,41	1,30	1,25	1,16	1,14
12	- -	15/06 15:15	366	0,58	1,43	1,32	1,28	1,18	1,16
13	- -	16/06 15:15	390	0,60	1,44	1,33	1,29	1,17	1,17
14	- -	19/06 15:10	462	0,61	1,41	1,28	1,23	1,14	1,13
15	- -	20/06 15:15	486	0,61	1,40	1,28	1,22	1,15	1,13

Pysyvät taipumat on mitattu aamulla yön tai viikonlopun kestäneen kuivumis- ja lepojakson jälkeen, ennen vanereiden laittamista kostutukseen. Verrattaessa koekappaleiden pysyviä taipumia eli niitä taipuma-arvoja, joita vanereilla oli lepotilassa huomataan, että myös ne kasvoivat kuormitus syklien edetessä, joten vanereihin syntyi pysyviä muodonmuutoksia. Ensimmäisen kuormituksen jälkeen lopputaipumat oli yön yli tapahtuneen lepojakson jälkeen 0,1 mm. Seuraavien syklien aikana nämä arvot kasvoivat keskimäärin 0,1-0,2 mm. Koesarjan lopussa pysyvät taipumat olivat 0,09-0,82. Näytteen ko20s1 taipumat olivat vain murto-osa muiden taipumasta. Taulukossa 8.6 on pysyvien taipumien kehittyminen eli arvot on mitattu aamuisin, kun vanerit ovat olleet lepotilassa.

Taulukko 8.6. 20 mm:n koivuvanerin pysyvien taipumien kasvu. Arvot mitattu ennen koekappaleiden laittamista kostutukseen.

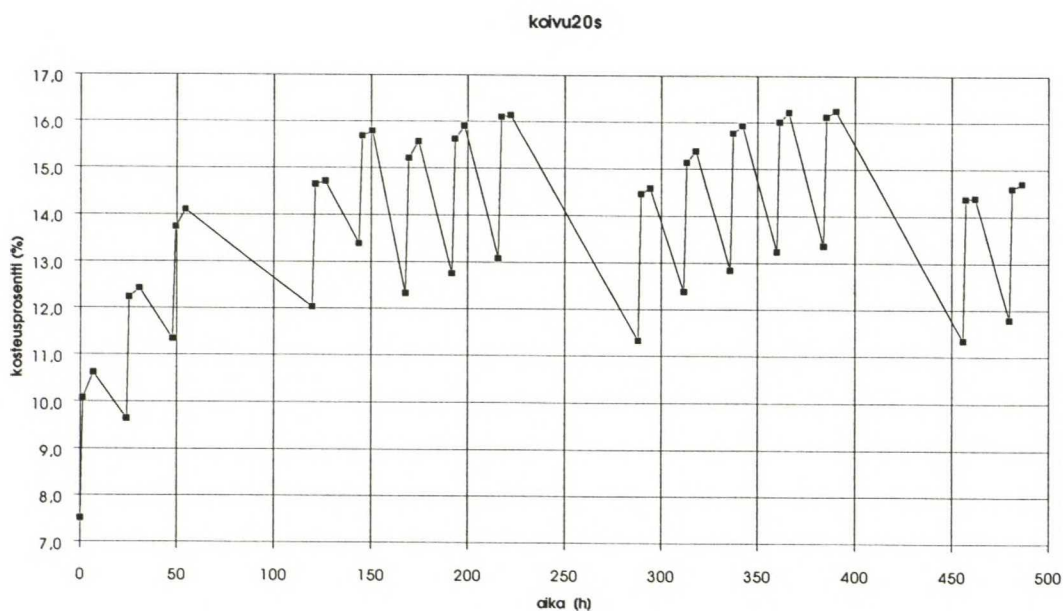
	vaneri	p=40 kPa	t=40°C	ko20s1	ko20s2	ko20s3	ko20s4	ko20s5	keskiarvo
	koivu20s	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm
1	kuiva	31/05 09:25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	- -	01/06 09:25	24	-0,01	0,08	0,16	0,10	0,10	0,09
3	- -	02/06 09:30	48	-0,04	0,06	0,12	0,07	0,04	0,05
4	- -	05/06 09:30	120	0,01	0,23	0,22	0,19	0,11	0,15
5	- -	06/06 09:25	144	-0,05	0,24	0,20	0,16	0,09	0,13
6	- -	07/06 09:30	168	-0,07	0,49	0,40	0,38	0,34	0,31
7	- -	08/06 09:30	192	-0,02	0,60	0,49	0,46	0,43	0,39
8	- -	09/06 09:30	216	-0,01	0,64	0,52	0,49	0,44	0,42
9	- -	12/06 09:35	288	0,07	0,71	0,57	0,55	0,53	0,49
10	- -	13/06 09:30	312	0,08	0,71	0,58	0,53	0,50	0,48
11	- -	14/06 09:30	336	0,07	0,71	0,58	0,56	0,50	0,48
12	- -	15/06 09:35	360	0,07	0,73	0,59	0,60	0,53	0,50
13	- -	16/06 09:30	384	0,07	0,77	0,62	0,63	0,55	0,53
14	- -	19/06 09:25	456	0,09	0,83	0,68	0,68	0,64	0,58
15	- -	20/06 09:30	480	0,09	0,82	0,67	0,66	0,62	0,57

Koivuvanerin taipumat on esitetty kuvassa 8.4. Näytteen ko20s1 taipumat ovat selvästi muita pienempiä.



Kuva 8.4. 20 mm:n koivuvanerin taipumat.

Koekappaleiden kosteusprosentin keskimääräinen muutos on esitetty kuvassa 8.5. Alussa kosteus oli 7,5 %, kokeen edetessä kosteus nousi noin 16,5 %:iin. Yön aikana vanereiden kosteus pieneni noin 2,5 %, ja viikonlopun aikana vanerit kuivuivat noin 4,5-5 %.



Kuva 8.5. 20 mm:n koivuvanerin kosteusprosentin muutos viidentoista kuormitussyklin aikana.

8.2.2 Filmipintainen koivuvaneri 24 mm, pintaviilujen syyt jänneväliä vastaan

Koivuvanerin taipumat kasvoivat ensimmäisellä kuormitusyhtäillä noin 0,5 mm:iin. Seuraavilla kuormituskerroilla maksimitaipumat kasvoivat hitaasti. Viidentoista kuormitusyhtäin jälkeen maksimitaipumat olivat 0,6-0,7 mm, lisäystä ensimmäiseen kuormituskertaan on näytteestä riippuen vain 0,12-0,24 mm. 24 mm:n koivuvanerin maksimitaipumien kasvu on esitetty taulukossa 8.7.

Taulukko 8.7. 24 mm:n filmipintaisen koivuvanerin taipumien kasvu. Arvot mitattu, kun paine on ollut päällä 4,5 tuntia.

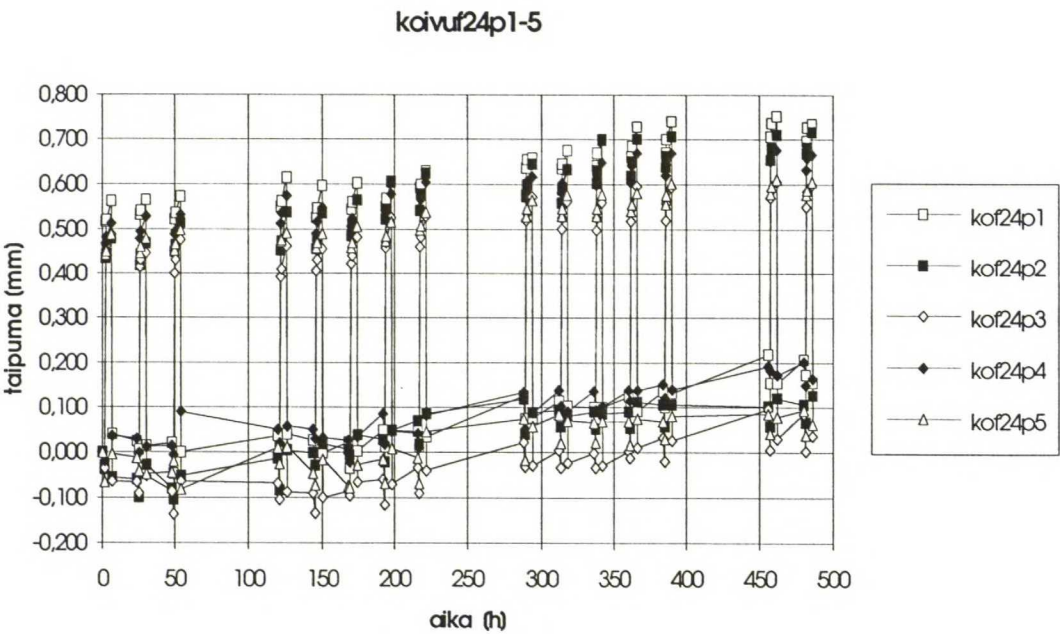
vaneri	p=40 kPa	t=40°C	kof24p1	kof24p2	kof24p3	kof24p4	kof24p5	keskiarvo
koivuf24p	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm
1	päällä	31/05 15:40	6	0,56	0,48	0,49	0,51	0,49
2	- -	01/06 15:30	30	0,56	0,47	0,45	0,53	0,48
3	- -	02/06 15:25	54	0,57	0,51	0,48	0,53	0,50
4	- -	05/06 15:25	126	0,61	0,54	0,46	0,57	0,49
5	- -	06/06 15:30	150	0,60	0,54	0,46	0,55	0,49
6	- -	07/06 15:35	174	0,60	0,56	0,48	0,57	0,51
7	- -	08/06 15:20	198	0,61	0,60	0,53	0,58	0,52
8	- -	09/06 15:15	222	0,63	0,62	0,53	0,60	0,54
9	- -	12/06 15:15	294	0,66	0,64	0,57	0,62	0,56
10	- -	13/06 15:15	318	0,67	0,63	0,56	0,64	0,58
11	- -	14/06 15:20	342	0,70	0,70	0,56	0,65	0,58
12	- -	15/06 15:15	366	0,73	0,70	0,60	0,67	0,58
13	- -	16/06 15:15	390	0,74	0,71	0,59	0,67	0,60
14	- -	19/06 15:10	462	0,75	0,71	0,61	0,68	0,61
15	- -	20/06 15:15	486	0,73	0,72	0,60	0,67	0,61

Pysyvät taipumat on mitattu aamulla yön tai viikonlopun kestäneen kuivumis- ja lepojakson jälkeen, ennen vanereiden laittamista kostutukseen. Vanereihin syntyvät pysyvät muodonmuutokset olivat pieniä. Ensimmäisen kuormituksen jälkeen lopputaipumat oli yön yli tapahtuneen lepojakson jälkeen -0,07-0,03 mm. Negatiivisen taipuman syynä on ilmeisesti näytteiden toispuoleinen kostuttaminen. Seuraavien syklien aikana nämä arvot kasvoivat hitaasti siten, että ne koejakson lopussa olivat 0,1-0,2 mm. Taulukossa 8.8 on pysyvien taipumien kehittyminen eli arvot on mitattu aamuisin, kun vanerit ovat olleet lepotilassa.

Taulukko 8.8. 24 mm:n filmipintaisen koivuvanerin pysyvien taipumien kasvu. Arvot mitattu ennen koekappaleiden laittamista kostutukseen.

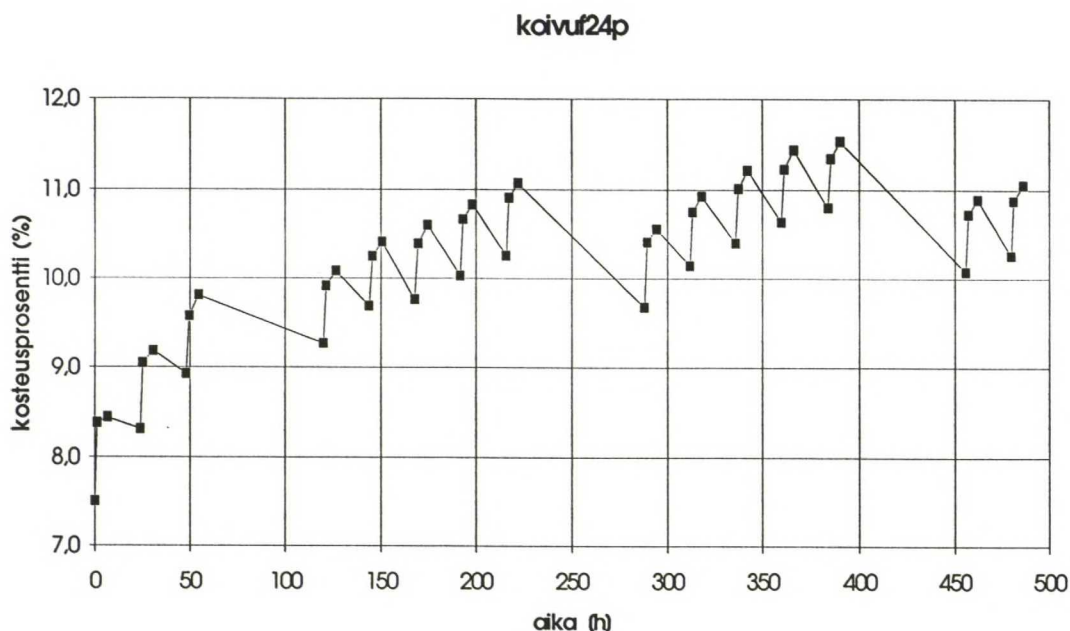
vaneri	p=40 kPa	t=40°C	kof24p1	kof24p2	kof24p3	kof24p4	kof24p5	keskiarvo
koivuf24p	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm
1	kuiva	31/05 09:25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	- -	01/06 09:25	24	0,02	-0,06	-0,07	0,03	-0,01
3	- -	02/06 09:30	48	0,02	-0,08	-0,09	0,01	-0,04
4	- -	05/06 09:30	120	0,04	-0,01	-0,07	0,05	0,01
5	- -	06/06 09:25	144	0,03	0,00	-0,09	0,05	-0,05
6	- -	07/06 09:30	168	0,02	0,01	-0,09	0,03	-0,07
7	- -	08/06 09:30	192	0,05	0,03	-0,06	0,09	-0,02
8	- -	09/06 09:30	216	0,05	0,07	-0,03	0,04	-0,01
9	- -	12/06 09:35	288	0,13	0,12	0,02	0,13	0,07
10	- -	13/06 09:30	312	0,11	0,09	0,00	0,14	0,08
11	- -	14/06 09:30	336	0,10	0,09	0,00	0,14	0,07
12	- -	15/06 09:35	360	0,12	0,09	0,00	0,14	0,07
13	- -	16/06 09:30	384	0,14	0,11	0,03	0,15	0,07
14	- -	19/06 09:25	456	0,22	0,10	0,10	0,19	0,09
15	- -	20/06 09:30	480	0,21	0,11	0,09	0,20	0,09

24 mm:n koivuvanerin taipumat on esitetty kuvassa 8.6. Näytteiden käyttäytymisessä ei ollut suuria eroja.



Kuva 8.6. 24 mm:n koivuvanerin taipumat.

Koekappaleiden kosteusprosentin keskimääräinen muutos on esitetty kuvassa 8.7. Alussa kosteus oli 7,5 %, kokeen edetessä kosteus nousi 11,5 %:iin. Kuvasta näkyy myös selvästi vanereiden kuivuminen lepojaksojen aikana. Yön aikana vanereiden kosteus pieneni noin 0,5 %, ja viikonloppuisin vanerit kuivuivat noin 1-1,5 %.



Kuva 8.7. 24 mm:n koivuvanerin kosteusprosentin muutos viidentoista kuormitus syklin aikana.

8.3 TOINEN KOESARJA

Kolmannessa koesarjassa tutkittiin 24 mm:n fenolifilmipintaista koivuvaneria, jossa pintaviilut olivat jännevälin suuntaan ja vanerin pinta oli rikottu. Viiteen näytteeseen sahattiin sirkkelillä kaksi pituussuuntaista uraa, ja viiden näytteen pinta rikottiin poraamalla niihin reikiä. Kuormituskokeet suoritettiin 21.8-22.9.1995. Kokeita tehtiin kaksikymmentäviisi sykliä arkipäivisin niin, että koekappaleet saivat yön yli ja viikonloppuisin olla levossa ja kuivua.

Vanerinäytteiden reunat käsiteltiin silikonilla, jotta veden imeytyminen reunoista voitiin estää. Koekappaleiden taipumat mitattiin aamulla ennen niiden laittamista kostutukseen. Kostutuksessa vanerit olivat vesiupotuksessa koestuspuolelta yhden tunnin ajan. Vesiupotuksen jälkeen vanereiden taipumat mitattiin. Sen jälkeen ne laitettiin koestukseen, jossa ne olivat noin neljä ja puoli tuntia. Taipumat mitattiin tänä aikana kolmesti, kun oli saavutettu koestuspaine, puolen tunnin koestuksen jälkeen ja ennen paineen

poistamista. Yön ja viikonlopun koekappaleet saivat olla lepotilassa ja kuivua. Paineena koesarjassa käytettiin 40 kN/m² ja koestuslaatikon lämpötila oli 40 °C.

Koekappaleiden painot mitattiin aamulla ennen kostutusta, kostutuksen jälkeen, ja iltapäivisin kun koekappaleet oli kuormitettu.

8.3.1 Filmipintainen koivuvaneri 24 mm, vanerin pintaan sahattu uria

Koivuvanerin taipumat kasvoivat ensimmäisellä kuormitus syklillä noin 0,3 mm:iin. Seuraavilla kuormituskeinoilla maksimitaipumat kasvoivat hitaasti. Kahdenkymmenen viiden kuormitussyklin jälkeen maksimitaipumat olivat 0,6-0,8 mm. 24 mm:n koivuvanerin maksimitaipumien kasvu on esitetty taulukossa 8.9. Jokaiselta mittausviikolta on esitetty kolmen päivän maksimitaipumat.

Taulukko 8.9. 24 mm:n koivuvanerin, taipumien kasvu. Arvot mitattu, kun paine on ollut päällä 4,5 tuntia.

	vaneri	p=40 kPa	t=40°C	kof24s1	kof24s2	kof24s3	kof24s4	kof24s5	keskiarvo
	koivuf24s uria	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm
1	päällä	21/08 16:00	7	0,31	0,28	0,30	0,27	0,25	0,28
3	— —	23/08 15:45	54	0,26	0,29	0,27	0,29	0,25	0,27
5	— —	25/08 15:40	102	0,33	0,33	0,32	0,35	0,35	0,34
6	— —	28/08 15:55	175	0,36	0,38	0,36	0,39	0,39	0,38
8	— —	30/08 15:25	222	0,39	0,35	0,38	0,42	0,44	0,40
10	— —	01/09 15:35	270	0,46	0,45	0,42	0,47	0,54	0,47
11	— —	04/09 15:40	342	0,43	0,47	0,46	0,50	0,54	0,48
13	— —	06/09 15:40	390	0,45	0,44	0,48	0,53	0,56	0,49
15	— —	08/09 15:45	438	0,55	0,50	0,57	0,61	0,68	0,58
16	— —	11/09 15:45	510	0,57	0,57	0,62	0,61	0,67	0,61
18	— —	13/09 15:30	558	0,54	0,54	0,63	0,64	0,72	0,61
20	— —	15/09 15:15	606	0,63	0,61	0,67	0,68	0,79	0,67
21	— —	18/09 15:15	678	0,65	0,63	0,71	0,71	0,75	0,69
23	— —	20/09 15:35	726	0,68	0,61	0,71	0,73	0,78	0,70
25	— —	22/09 15:25	774	0,67	0,63	0,76	0,76	0,83	0,73

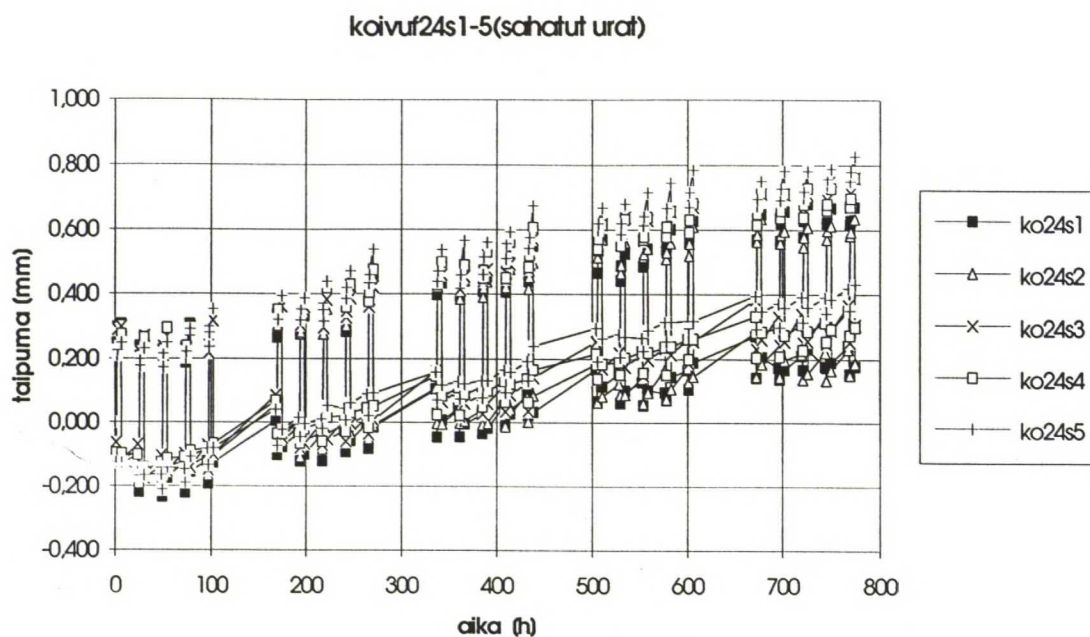
pysyviä Verrattaessa pysyviä taipumia eli niitä taipuma-arvoja, joita vanereilla oli lepotilassa huomataan, että ne kasvoivat kuormitussykliä edetessä vain vähän, joten vanereihin syntyvät pysyvät muodonmuutokset olivat pieniä. Ensimmäisten

kuormitusten jälkeen lopputaipumat oli yön yli tapahtuneen lepojakson jälkeen noin -0,1 mm, negatiivisen taipuman syynä on ilmeisesti näytteiden toispuoleinen kostuttaminen. Seuraavien syklien aikana nämä arvot kasvoivat hitaasti siten, että ne koejakson lopussa pysyvät taipumat olivat 0,2-0,4 mm. Taulukossa 8.10 on pysyvien taipumien kehittyminen eli arvot on mitattu aamuisin, kun vanerit ovat olleet lepotilassa. Jokaiselta mittausviikolta on esitetty kolmen päivän maksimitaipumat.

Taulukko 8.10. 24 mm:n filmipintaisen koivuvanerin pysyvien taipumien kasvu. Arvot mitattu ennen koekappaleiden laittamista kostutukseen.

	vaneri	p=40 kPa	t=40°C	kof24s1	kof24s2	kof24s3	kof24s4	kof24s5	keskiarvo
	koivuf24s uria	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm
1	kuiva	21/08 09:25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	- -	23/08 09:25	48	-0,14	-0,13	-0,11	-0,13	-0,16	-0,13
5	- -	25/08 09:25	96	-0,12	-0,11	-0,07	-0,08	-0,08	-0,09
6	- -	28/08 09:30	168	0,00	0,06	0,09	0,07	0,04	0,05
8	- -	30/08 09:05	216	-0,04	-0,03	0,00	0,00	0,01	-0,01
10	- -	01/09 09:25	264	0,00	0,01	0,02	0,04	0,09	0,03
11	- -	04/09 09:25	336	0,10	0,11	0,16	0,15	0,16	0,14
13	- -	06/09 09:25	384	0,02	0,04	0,09	0,11	0,13	0,08
15	- -	08/09 09:35	432	0,09	0,08	0,13	0,14	0,19	0,12
16	- -	11/09 09:30	504	0,17	0,18	0,25	0,22	0,30	0,22
18	- -	13/09 09:25	552	0,13	0,14	0,22	0,22	0,27	0,19
20	- -	15/09 09:05	600	0,17	0,17	0,26	0,26	0,32	0,24
21	- -	18/09 09:00	672	0,27	0,28	0,38	0,33	0,40	0,33
23	- -	20/09 09:20	720	0,21	0,22	0,34	0,31	0,39	0,29
25	- -	22/09 09:15	768	0,24	0,23	0,37	0,35	0,42	0,32

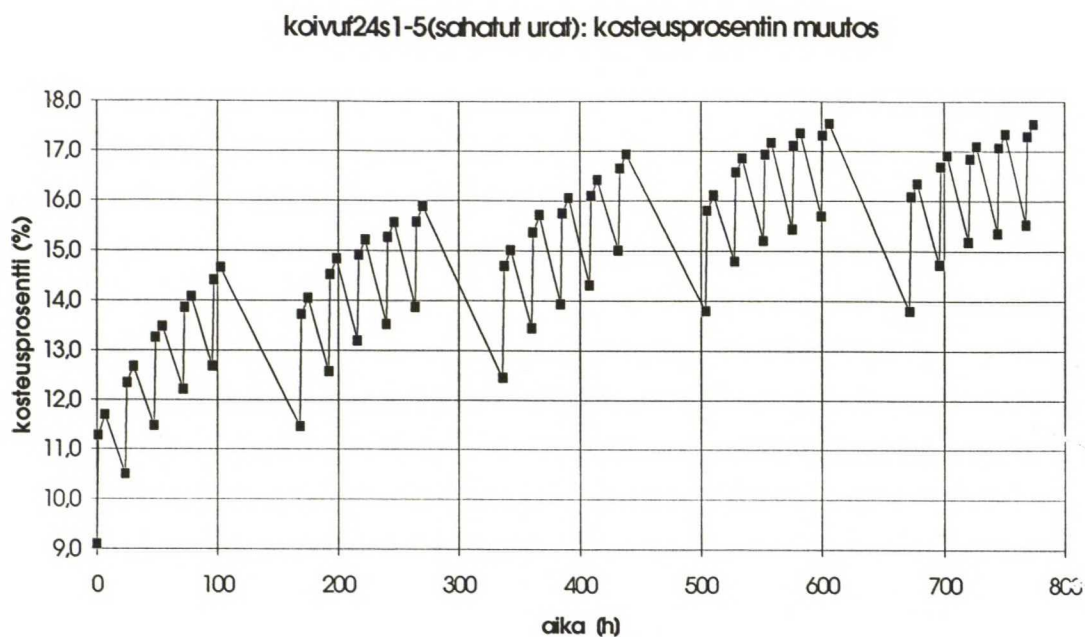
24 mm:n koivuvanerin taipumat on esitetty kuvassa 8.8. Näytteiden käyttäytymisessä ei ollut suuria eroja. Kuvasta nähdään, että lepojaksojen aikana taipumat kasvoivat, syynä lienee se, että toispuoleisen turpoamisen taipumista hidastava vaikutus vähenee vanereiden kuivuessa.



Kuva 8.8. 24 mm:n koivuvanerin taipumat, vanerin pinnassa kaksi sahattua uraan.

Koekappaleiden kosteusprosentin keskimääräinen muutos on esitetty kuvassa 8.9.

Alussa kosteus oli 9,1 %, kokeen edetessä kosteus nousi 17,5 %:iin. Kuvasta näkyy myös selvästi vanereiden kuivuminen lepojaksojen aikana. Yön aikana lepotilanteessa vanereiden kosteus pieneni noin 1,5 %, ja viikonlopun aikana vanerit kuivuivat noin 3-3,5 %.



Kuva 8.9. 24 mm:n koivuvanerin kosteusprosentin muutos kahdenkymmenen viiden kuormitusyklin aikana.

8.3.2 Filmipintainen koivuvaneri 24 mm, vaneriin porattu reikiä

Koivuvanerin taipumat kasvoivat ensimmäisellä kuormitusyklillä noin 0,4 mm:iin. Seuraavilla kuormituskerroilla maksimitaipumat kasvoivat tasaisesti. Kahdenkymmenen viiden kuormitusyklin jälkeen maksimitaipumat olivat 0,9-1,0 mm. Koivuf24s6:n taipumat olivat hieman suuremmat kuin muilla koekappaleilla. 24 mm:n koivuvanerin maksimitaipumien kasvu on esitetty taulukossa 8.11. Jokaiselta mittausviikolta on esitetty kolmen päivän maksimitaipumat.

Taulukko 8.11. 24 mm:n koivuvanerin taipumien kasvu. Arvot mitattu, kun paine on ollut päällä 4,5 tuntia.

	vaneri	p=40 kPa	t=40°C	kof24s6	kof24s7	kof24s8	kof24s9	kof24s10	keskiarvo
	koivuf24s reikiä	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm
1	päällä	21/08 16:00	7	0,43	0,41	0,40	0,45	0,43	0,42
3	- -	23/08 15:45	54	0,70	0,57	0,59	0,60	0,55	0,60
5	- -	25/08 15:40	102	0,73	0,66	0,63	0,68	0,68	0,68
6	- -	28/08 15:55	175	0,73	0,63	0,68	0,67	0,67	0,68
8	- -	30/08 15:25	222	0,80	0,72	0,72	0,72	0,75	0,74
10	- -	01/09 15:35	270	0,86	0,77	0,75	0,79	0,76	0,78
11	- -	04/09 15:40	342	0,83	0,76	0,74	0,77	0,76	0,77
13	- -	06/09 15:40	390	0,88	0,81	0,76	0,81	0,80	0,81
15	- -	08/09 15:45	438	0,92	0,83	0,86	0,84	0,84	0,86
16	- -	11/09 15:45	510	0,93	0,83	0,85	0,84	0,86	0,86
18	- -	13/09 15:30	558	0,94	0,87	0,87	0,85	0,88	0,88
20	- -	15/09 15:15	606	0,96	0,90	0,91	0,87	0,90	0,91
21	- -	18/09 15:15	678	0,96	0,91	0,91	0,88	0,88	0,91
23	- -	20/09 15:35	726	0,96	0,89	0,92	0,90	0,93	0,92
25	- -	22/09 15:25	774	0,98	0,92	0,93	0,90	0,93	0,93

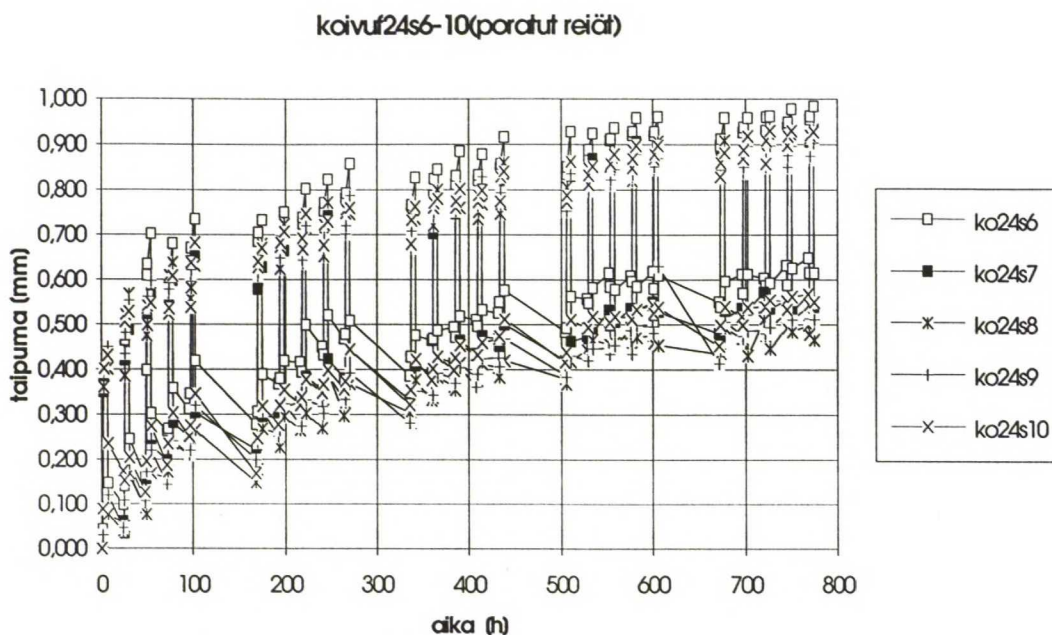
Pysyvät taipumat on mitattu aamulla yön tai viikonlopun kestäneen kuivumis- ja lepojakson jälkeen, ennen vanereiden laittamista kostutukseen. Ensimmäisten kuormitusten jälkeen lopputaipumat oli yön yli tapahtuneen lepojakson jälkeen noin 0,1 mm. Seuraavien syklien aikana nämä arvot kasvoivat hitaasti siten, että koejakson lopussa pysyvät taipumat olivat 0,50-0,65 mm. Taulukossa 8.12 on esitetty pysyvien taipumien kehittyminen. Taipuma-arvot on mitattu aamulla, kun vanerit ovat olleet lepotilassa. Jokaiselta mittausviikolta on esitetty kolmen päivän maksimitaipumat.

Taulukko 8.12. 24 mm:n koivuvanerin pysyvien taipumien kasvu. Arvot mitattu ennen koekappaleiden laittamista kostutukseen.

	vaneri	p=40 kPa	t=40°C	kof24s6	kof24s7	kof24s8	kof24s9	kof24s10	keskiarvo
	koivuf24s reikiä	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm
1	kuiva	21/08 09:25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	- -	23/08 09:25	48	0,16	0,09	0,09	0,11	0,13	0,11
5	- -	25/08 09:25	96	0,31	0,25	0,21	0,21	0,25	0,25
6	- -	28/08 09:30	168	0,28	0,22	0,15	0,20	0,17	0,20
8	- -	30/08 09:05	216	0,42	0,33	0,27	0,28	0,32	0,32
10	- -	01/09 09:25	264	0,47	0,38	0,30	0,33	0,36	0,37
11	- -	04/09 09:25	336	0,39	0,33	0,30	0,28	0,32	0,33
13	- -	06/09 09:25	384	0,49	0,41	0,36	0,38	0,40	0,41
15	- -	08/09 09:35	432	0,53	0,47	0,40	0,43	0,47	0,46
16	- -	11/09 09:30	504	0,48	0,42	0,38	0,39	0,42	0,42
18	- -	13/09 09:25	552	0,61	0,53	0,46	0,45	0,51	0,51
20	- -	15/09 09:05	600	0,62	0,55	0,48	0,50	0,54	0,54
21	- -	18/09 09:00	672	0,55	0,48	0,43	0,41	0,45	0,47
23	- -	20/09 09:20	720	0,60	0,57	0,51	0,49	0,54	0,54
25	- -	22/09 09:15	768	0,65	0,57	0,50	0,54	0,57	0,56

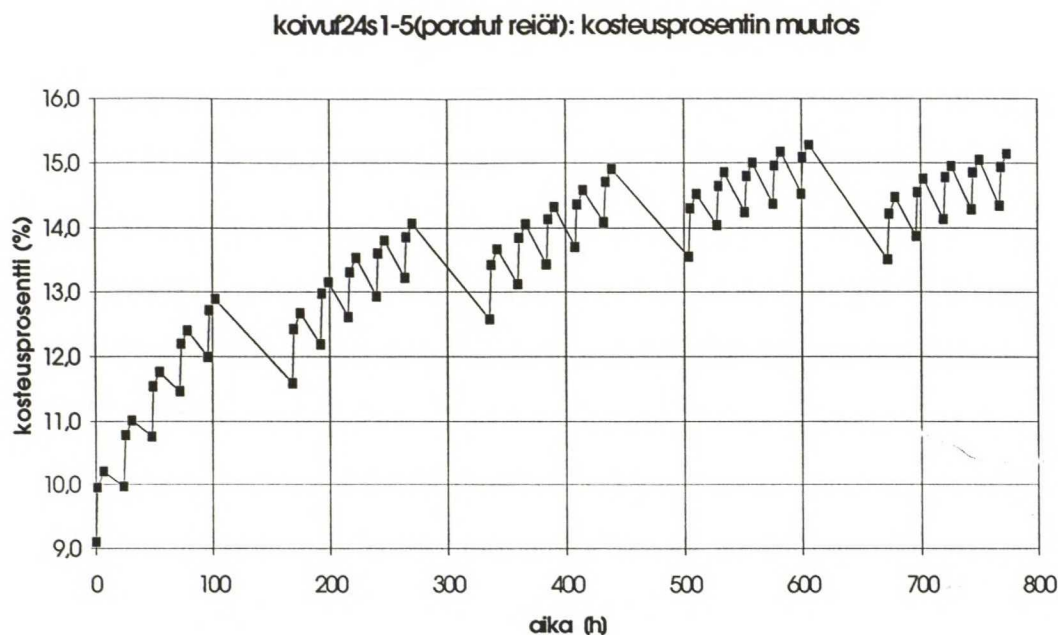
24 mm:n koivuvanerin taipumat on esitetty kuvassa 8.10. Näytteiden käyttäytymisessä ei ollut suuria eroja. Kuvasta nähdään, että lepojaksojen aikana taipumat pienenevät.

Porattujen reikien takia vanereiden kostuminen ulottui syvemmälle vaneriin, eikä ollut täysin toispuoleista.



Kuva 8.10. 24 mm:n koivuvanerin taipumat, vaneriin porattu reikiä.

Koekappaleiden kosteusprosentin keskimääräinen muutos on esitetty kuvassa 8.11. Alussa kosteus oli 9,1 %, kokeen edetessä kosteus nousi 15,3 %:iin. Kuvasta näkyy myös selvästi vanereiden kuivuminen lepojaksojen aikana. Yön aikana vanereiden kosteus pieneni noin 0,5 %. Viikonlopun aikana vanerit kuivuivat noin 1,5 %.



Kuva 8.11. 24 mm:n koivuvanerin kosteusprosentin muutos kahdenkymmenen viiden kuormitus syklin aikana.

8.4 KOLMAS KOESARJA

Neljännessä koesarjassa tutkittiin 18 mm:n vanereita. Koestuksia varten sahattiin 36 vanerinäytettä siten, että koivuvanereita sahattiin 12 kpl, kuuden pintaviilut jännevälän suuntaisesti ja kuuden jännevälän suuntaa vastaan. Havu- ja combivanereita sahattiin sama määrä ja samalla tavalla. Varsinaiseen koestukseen valittiin kutakin näytettä sopiva määrä. Kuormituskokeet suoritettiin 11.10-10.11-1995 sekä 15.11-15.12.1995. Kokeita tehtiin kaksikymmentäkolme sykliä arkipäivisin niin, että koekappaleet saivat yön yli ja viikonloppuisin olla levossa ja kuivua.

Vanerinäytteiden reunat käsiteltiin silikonilla, jotta veden imeytyminen reunoista voitiin estää. Koekappaleiden taipumat mitattiin aamulla ennen niiden laittamista koestukseen. Kun vanereita oli kostutettu yhden tunnin ajan koestuspuolelta, niiden taipumat mitattiin. Tämän jälkeen ne laitettiin koestukseen, jossa ne olivat noin neljä ja puoli tuntia. Taipumat mitattiin tänä aikana kolmesti, kun oli saavutettu koestuspaine, puolen tunnin koestuksen jälkeen ja ennen paineen poistamista. Yön ja viikonloppu koekappaleet saivat olla lepotilassa ja kuivua. Paineena koesarjassa käytettiin 34 kN/m² ja koestuslaatikon lämpötila oli 40 °C.

Koekappaleiden painot mitattiin aamulla ennen kostutusta, kostutuksen jälkeen, ja iltapäivisin kun koekappaleet oli kuormitettu.

8.4.1 Koivuvaneri 18 mm, pintaviilujen syyt jännevälän suuntaan

Koivuvanerin taipumat kasvoivat ensimmäisellä kuormitusyhtäillä noin 0,4-0.6mm:iin. Seuraavilla kuormituskerroilla maksimitaipumat kasvoivat tasaisesti. Kahdenkymmenen kolmen kuormitusyhtäin jälkeen maksimitaipumat olivat 0,8 mm. 18 mm:n koivuvanerin maksimitaipumien kasvu on esitetty taulukossa 8.13. Taulukossa on esitetty selkeyden vuoksi vain osa arvoista.

Taulukko 8.13. 18 mm:n koivuvanerin taipumien kasvu. Arvot mitattu, kun paine on ollut päällä 4,5 tuntia.

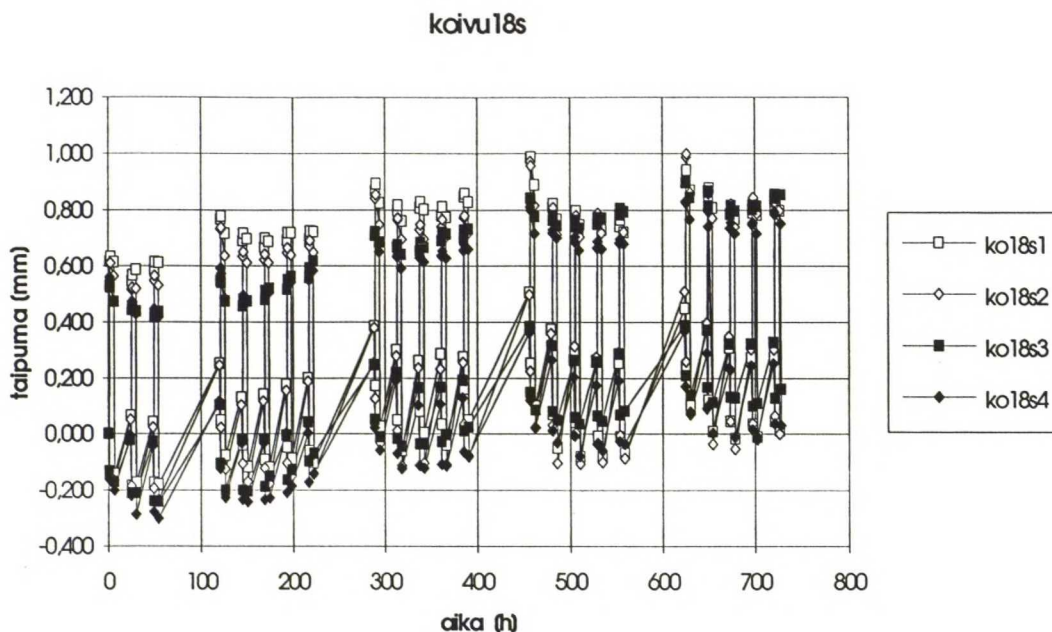
	vaneri	p=34 kPa	t=40°C	ko18s1	ko18s2	15.11-	ko18s3	ko18S4	keskiarvo
	koivu18s	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm
1	päällä	11/10 15:50	6	0,61	0,56	6	0,47	0,47	0,53
2	- -	12/10 15:30	30	0,59	0,52	30	0,44	0,43	0,49
3	- -	13/10 15:25	54	0,61	0,53	54	0,44	0,42	0,50
4	- -	16/10 15:35	126	0,72	0,64	126	0,47	0,48	0,58
6	- -	18/10 15:05	174	0,69	0,61	174	0,52	0,51	0,58
8	- -	20/10 15:35	222	0,72	0,65	222	0,62	0,58	0,64
9	- -	23/10 15:40	294	0,83	0,75	294	0,69	0,65	0,73
11	- -	25/10 15:35	342	0,80	0,70	342	0,67	0,62	0,70
13	- -	27/10 15:30	390	0,83	0,72	390	0,73	0,66	0,73
14	- -	30/10 15:30	462	0,89	0,82	462	0,78	0,72	0,80
16	- -	01/11 15:50	510	0,75	0,71	510	0,73	0,66	0,71
18	- -	03/11 15:35	558	0,72	0,72	558	0,79	0,68	0,73
19	- -	06/11 15:35	630	0,87	0,86	630	0,84	0,77	0,84
21	- -	08/11 15:30	678	0,77	0,74	678	0,80	0,72	0,76
23	- -	10/11 15:30	726	0,80	0,80	728	0,85	0,75	0,80

Pysyvät taipumat on mitattu aamulla yön tai viikonlopun yli kestäneen kuivumis- ja lepojakson jälkeen, ennen vanereiden laittamista kostutukseen. Ensimmäisten kuormitusten jälkeen lopputaipumat oli yön yli tapahtuneen lepojakson jälkeen alle 0,06 mm. Seuraavien syklien aikana nämä arvot kasvoivat hitaasti siten, että ne koejakson lopussa pysyvät taipumat olivat 0,23-0,33 mm. Taulukossa 8.12 on pysyvien taipumien kehittyminen eli arvot on mitattu aamuisin, kun vanerit ovat olleet lepotilassa. Myös tässä taulukossa on selkeyden vuoksi esitetty vain osa arvoista.

Taulukko 8.14. 18 mm:n koivuvanerin pysyvien taipumien kasvu. Arvot mitattu ennen koekappaleiden laittamista kostutukseen.

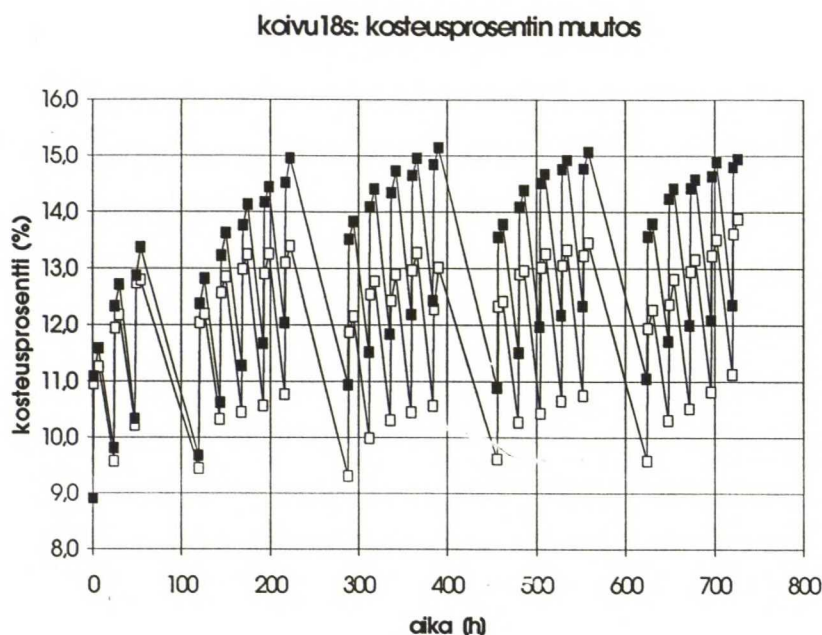
	vaneri	p=34 kPa	t=40°C	ko18s1	ko18s2	15.11-	ko18s3	ko18S4	keskiarvo
	koivu18s	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm
1	kuiva	11/10 09:25	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00
2	- -	12/10 09:25	24	0,06	0,05	24	-0,02	-0,01	0,02
3	- -	13/10 09:20	48	0,04	0,02	48	-0,03	-0,04	0,00
4	- -	16/10 09:30	120	0,25	0,25	120	0,10	0,12	0,18
6	- -	18/10 09:00	168	0,14	0,12	168	-0,02	-0,03	0,05
8	- -	20/10 09:25	216	0,20	0,19	216	0,04	0,00	0,11
9	- -	23/10 09:30	288	0,39	0,38	288	0,25	0,25	0,32
11	- -	25/10 09:25	336	0,26	0,24	336	0,17	0,10	0,19
13	- -	27/10 09:25	384	0,28	0,26	384	0,19	0,13	0,21
14	- -	30/10 09:25	456	0,51	0,50	456	0,38	0,36	0,44
16	- -	01/11 09:40	504	0,29	0,31	503	0,26	0,20	0,27
18	- -	03/11 09:20	552	0,25	0,29	552	0,29	0,19	0,26
19	- -	06/11 09:25	624	0,45	0,51	624	0,39	0,37	0,43
21	- -	08/11 09:20	672	0,31	0,35	672	0,32	0,23	0,30
23	- -	10/11 09:25	720	0,28	0,30	720	0,33	0,25	0,29

18 mm:n koivuvanerin taipumat on esitetty kuvassa 8.12. Näytteiden käyttäytymisessä ei ollut suuria eroja. Kuvasta nähdään, että lepojaksojen aikana taipumat kasvoivat, syynä lienee se, että toispuoleisen turpoamisen taipumista hidastava vaikutus vähenee vanereiden kuivuessa.



Kuva 8.12. 18 mm:n koivuvanerin taipumat, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaan.

Koekappaleiden kosteusprosentin keskimääräinen muutos on esitetty kuvassa 8.13. Alussa kosteus oli 8,9 %. Kokeen edetessä kosteus nousi koekappaleilla, jotka olivat koestuksessa 11.10-10.11.1995 13,9 %:iin. Koestuksessa 15.11-15.12.1995 olleilla näytteillä kosteus nousi korkeammalle eli 15,1 %:iin. Kuvasta näkyy myös selvästi vanereiden kuivuminen lepojaksojen aikana. Yön aikana vanereiden kosteus pieneni noin 2 %, ja viikonlopun aikana vanerit kuivuivat noin 4 %.



Kuva 8.13. 18 mm:n koivuvanerin kosteusprosentin muutos kahdenkymmenen kolmen kuormitus syklin aikana.

8.4.2 Koivuvaneri 18 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaa vastaan

Koivuvanerin taipumat kasvoivat ensimmäisellä kuormitus syklillä noin 0,6-0,8 mm:iin. Seuraavilla kuormitus kerroilla maksimitaipumat kasvoivat. Kahdenkymmenen kolmen kuormitus syklin jälkeen maksimitaipumat olivat 0,7-1,1 mm. 18 mm:n koivuvanerin maksimitaipumien kasvu on esitetty taulukossa 8.15. Taulukossa on esitetty selkeyden vuoksi vain osa arvoista.

Taulukko 8.15. 18 mm:n koivuvanerin taipumien kasvu. Arvot mitattu, kun paine on ollut päällä 4,5 tuntia.

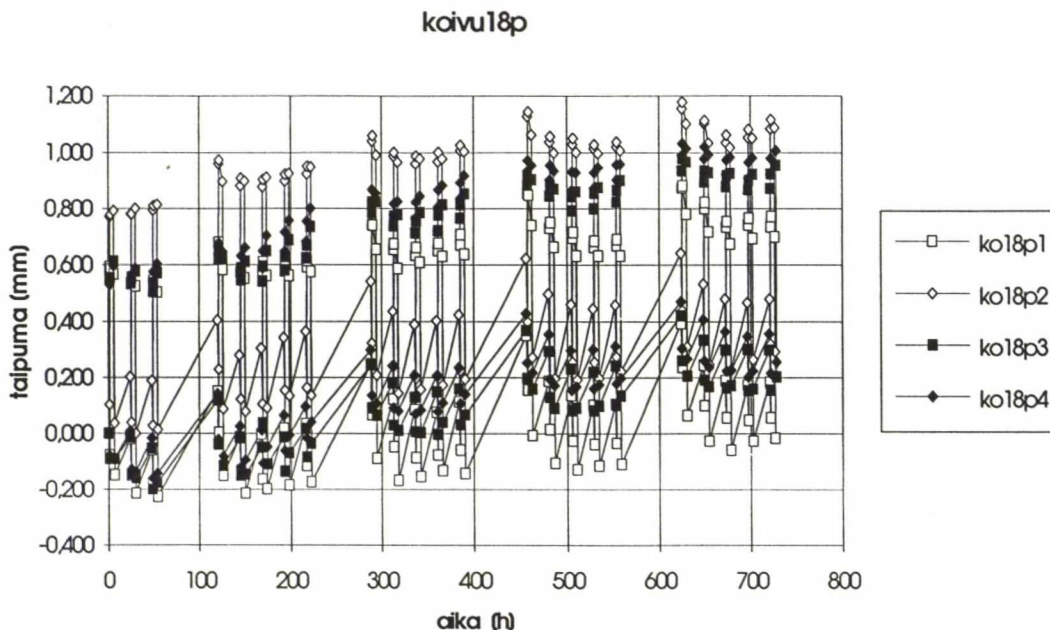
	vaneri	p=34 kPa	t=40°C	ko18p1	ko18p2	15.11-	ko18p3	ko18p4	keskiarvo
	koivu18p	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm
1	päällä	11/10 15:50	6	0,57	0,79	6	0,61	0,60	0,64
2	- -	12/10 15:30	30	0,53	0,80	30	0,58	0,59	0,62
3	- -	13/10 15:25	54	0,50	0,81	54	0,57	0,60	0,62
4	- -	16/10 15:35	126	0,58	0,90	126	0,62	0,65	0,69
6	- -	18/10 15:05	174	0,56	0,91	174	0,65	0,70	0,71
8	- -	20/10 15:35	222	0,58	0,95	222	0,73	0,80	0,76
9	- -	23/10 15:40	294	0,65	0,99	294	0,82	0,85	0,83
11	- -	25/10 15:35	342	0,61	0,98	342	0,78	0,84	0,80
13	- -	27/10 15:30	390	0,64	1,01	390	0,85	0,92	0,85
14	- -	30/10 15:30	462	0,74	1,06	462	0,90	0,95	0,92
16	- -	01/11 15:50	510	0,63	1,00	510	0,86	0,93	0,86
18	- -	03/11 15:35	558	0,63	1,01	558	0,90	0,96	0,87
19	- -	06/11 15:35	630	0,78	1,10	630	0,97	1,01	0,97
21	- -	08/11 15:30	678	0,67	1,02	678	0,93	0,98	0,90
23	- -	10/11 15:30	726	0,70	1,09	728	0,95	1,01	0,94

Pysyvät taipumat on mitattu aamulla yön tai viikonlopun yli kestäneen kuivumis- ja lepojakson jälkeen, ennen vanereiden laittamista kostutukseen. Ensimmäisten kuormitusten jälkeen lopputaipumat oli yön yli tapahtuneen lepojakson jälkeen alle 0,20 mm. Seuraavien syklien aikana nämä arvot kasvoivat hitaasti siten, että ne koejakson lopussa pysyvät taipumat olivat 0,18-0,48 mm. Taulukossa 8.16 on pysyvien taipumien kehittyminen eli arvot on mitattu aamuisin, kun vanerit ovat olleet lepotilassa. Myös tässä taulukossa on selkeyden vuoksi esitetty vain osa arvoista.

Taulukko 8.16. 18 mm:n koivuvanerin pysyvien taipumien kasvu. Arvot mitattu ennen koekappaleiden laittamista kostutukseen.

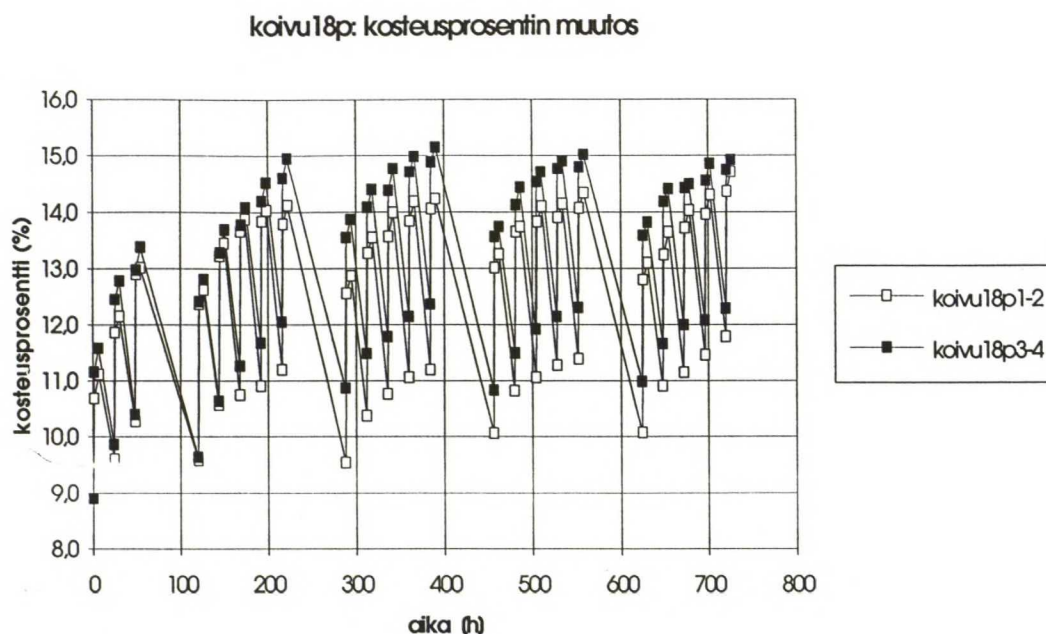
	vaneri	p=34 kPa	t=40°C	ko18p1	ko18p2	15.11-	ko18p3	ko18p4	keskiarvo
	koivu18p	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	taipuma mm
1	kuiva	11/10 09:25	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00
2	- -	12/10 09:25	24	-0,02	0,20	24	-0,01	0,01	0,04
3	- -	13/10 09:20	48	-0,06	0,19	48	-0,05	-0,02	0,01
4	- -	16/10 09:30	120	0,15	0,41	120	0,12	0,14	0,20
6	- -	18/10 09:00	168	0,00	0,30	168	-0,05	0,01	0,07
8	- -	20/10 09:25	216	0,03	0,36	216	0,02	0,10	0,13
9	- -	23/10 09:30	288	0,25	0,54	288	0,24	0,30	0,33
11	- -	25/10 09:25	336	0,08	0,39	336	0,13	0,21	0,20
13	- -	27/10 09:25	384	0,11	0,42	384	0,16	0,23	0,23
14	- -	30/10 09:25	456	0,35	0,62	456	0,37	0,43	0,44
16	- -	01/11 09:40	504	0,14	0,46	503	0,23	0,30	0,28
18	- -	03/11 09:20	552	0,11	0,46	552	0,24	0,31	0,28
19	- -	06/11 09:25	624	0,39	0,64	624	0,42	0,47	0,48
21	- -	08/11 09:20	672	0,19	0,48	672	0,30	0,36	0,33
23	- -	10/11 09:25	720	0,18	0,48	720	0,30	0,36	0,33

18 mm:n koivuvanerin taipumat on esitetty kuvassa 8.14. Näytteiden käyttäytymisessä oli melko suuria eroja. Kuvasta nähdään, että lepojaksojen aikana taipumat kasvoivat, syynä lienee se, että toispuoleisen turpoamisen taipumista hidastava vaikutus vähenee vanereiden kuivuessa.



Kuva 8.14. 18 mm:n koivuvanerin taipumat, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaa vastaan.

Koekappaleiden kosteusprosentin keskimääräinen muutos on esitetty kuvassa 8.15. Alussa kosteus oli 8,9 %. Kokeen edetessä kosteus nousi koekappaleilla, jotka olivat koestuksessa 11.10-10.11.1995 14,7 %:iin. Koestuksessa 15.11-15.12.1995 olleilla näytteillä kosteus nousi korkeammalle eli 15,1 %:iin. Kuvasta näkyy myös selvästi vanereiden kuivuminen lepojaksojen aikana. Yön aikana vanereiden kosteus pieneni noin 3 %, ja viikonloppuisin vanerit kuivuivat noin 4 %.



Kuva 8.15. 18 mm:n koivuvanerin kosteusprosentin muutos kahdenkymmenen kolmen kuormitus syklin aikana.

8.4.3 Havuvaneri 18 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaan

Havuvanerin taipumat kasvoivat ensimmäisellä kuormitus sykllillä noin 0,9-1,0 mm:iin. Kahdenkymmenen kolmen kuormitus syklin jälkeen maksimitaipumat olivat 1,3-2,7 mm. Myöhemmin koestuksessa olleen ha18s3:n taipumat ovat selvästi aikaisemmin tutkittuja suurempia. 18 mm:n havuvanerin maksimitaipumien kasvu on esitetty taulukossa 8.17. Koekappaleet ha18s1 ja ha18s2 olivat koestuksessa 11.10-10.11.1995 ja ha18s3 oli koestuksessa 15.11-15.12.1995. Taulukossa on esitetty selkeyden vuoksi vain osa arvoista.

Taulukko 8.17. 18 mm:n havuvanerin taipumien kasvu. Arvot mitattu, kun paine on ollut

päällä 4,5 tuntia.

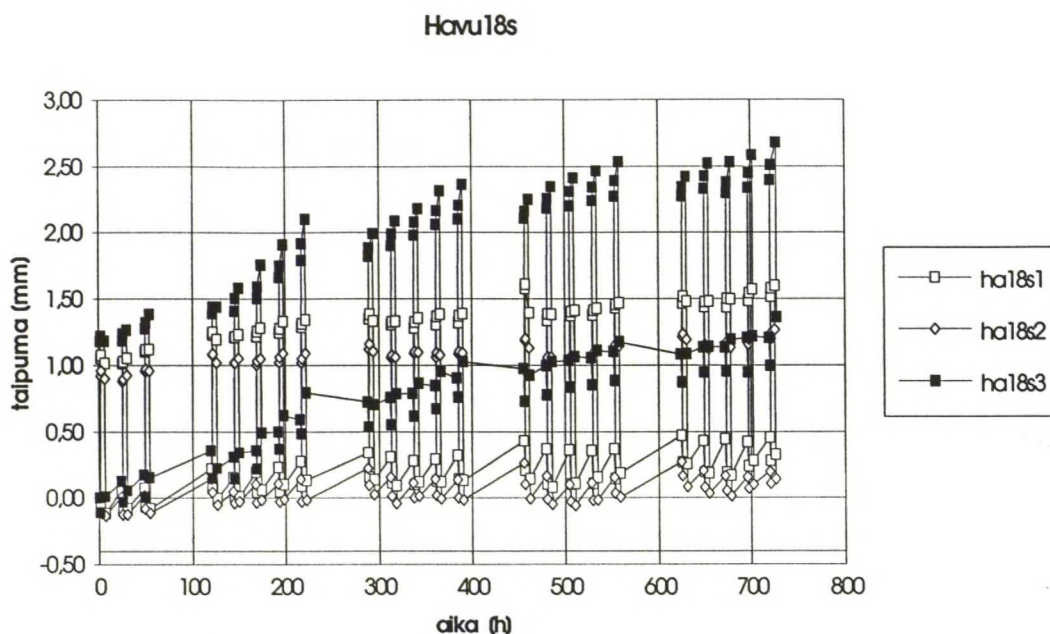
	vaneri	p=34 kPa	t=40°C	ha18s1	ha18s2	15.11-	ha18s3	keskiarvo
	havu18s	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm
1	päällä	11/10 15:50	6	1,02	0,90	6	1,18	1,03
2	- -	12/10 15:30	30	1,05	0,92	30	1,26	1,08
3	- -	13/10 15:25	54	1,12	0,96	54	1,38	1,15
4	- -	16/10 15:35	126	1,19	1,02	126	1,44	1,22
6	- -	18/10 15:05	174	1,28	1,05	174	1,76	1,36
8	- -	20/10 15:35	222	1,34	1,09	222	2,10	1,51
9	- -	23/10 15:40	294	1,33	1,11	294	1,99	1,47
11	- -	25/10 15:35	342	1,35	1,10	342	2,18	1,54
13	- -	27/10 15:30	390	1,39	1,09	390	2,36	1,61
14	- -	30/10 15:30	462	1,39	1,13	462	2,25	1,59
16	- -	01/11 15:50	510	1,41	1,07	510	2,41	1,63
18	- -	03/11 15:35	558	1,47	1,15	558	2,53	1,72
19	- -	06/11 15:35	630	1,48	1,19	630	2,42	1,70
21	- -	08/11 15:30	678	1,49	1,13	678	2,53	1,72
23	- -	10/11 15:30	726	1,60	1,27	728	2,68	1,85

Pysyvät taipumat on mitattu aamulla yön tai viikonlopun yli kestäneen kuivumis- ja lepojaksen jälkeen, ennen vanereiden laittamista kostutukseen. Ensimmäisten kuormitusten jälkeen lopputaipumat oli yön yli tapahtuneen lepojaksen jälkeen alle 0,01-0,12 mm. Seuraavien syklien aikana nämä arvot kasvoivat hitaasti siten, että koejakson lopussa pysyvät taipumat olivat 0,20-1,20 mm. Koekappaleen ha18s3:n pysyvät taipumat ovat selvästi suurempia kuin aikaisemmin koestuksessa olleiden näytteiden. Taulukossa 8.18 on pysyvien taipumien kehittyminen eli arvot on mitattu aamuisin, kun vanerit ovat olleet lepotilassa. Taulukossa on selkeyden vuoksi esitetty vain osa arvoista.

Taulukko 8.18. 18 mm:n havuvanerin pysyvien taipumien kasvu. Arvot mitattu ennen koekappaleiden laittamista kostutukseen.

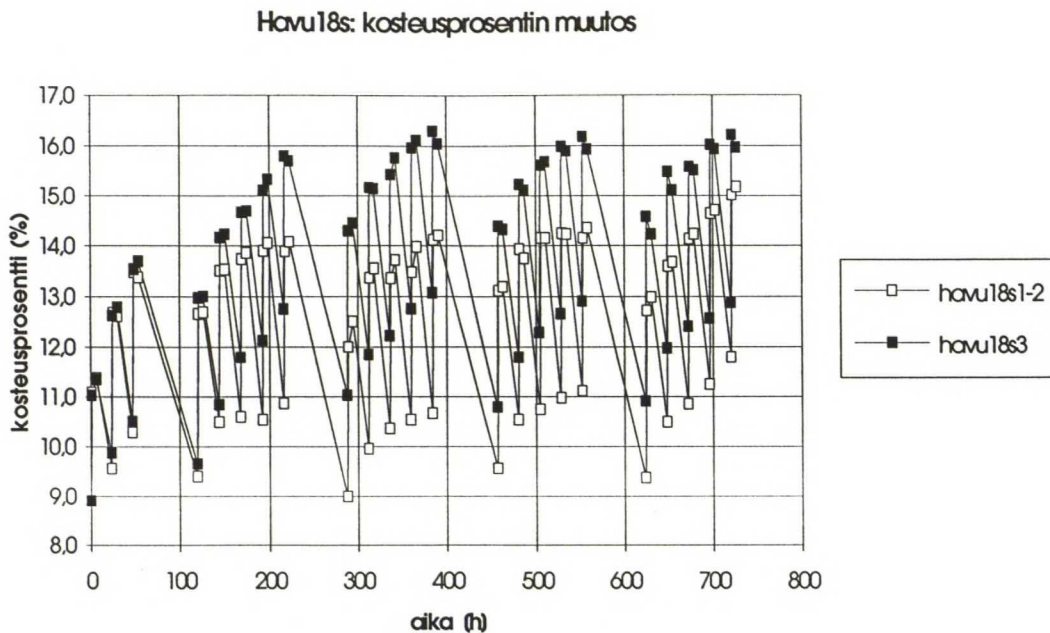
	vaneri	p=34 kPa	t=40°C	ha18s1	ha18s2	15.11-	ha18s3	keskiarvo
	havu18s	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm
1	kuiva	11/10 09:25	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2	— —	12/10 09:25	24	0,06	0,01	24	0,12	0,06
3	— —	13/10 09:20	48	0,07	0,02	48	0,17	0,09
4	— —	16/10 09:30	120	0,22	0,14	120	0,36	0,24
6	— —	18/10 09:00	168	0,19	0,10	168	0,36	0,22
8	— —	20/10 09:25	216	0,28	0,14	216	0,59	0,34
9	— —	23/10 09:30	288	0,34	0,22	288	0,73	0,43
11	— —	25/10 09:25	336	0,28	0,11	336	0,79	0,39
13	— —	27/10 09:25	384	0,32	0,13	384	0,90	0,45
14	— —	30/10 09:25	456	0,43	0,26	456	0,97	0,56
16	— —	01/11 09:40	504	0,36	0,10	503	1,04	0,50
18	— —	03/11 09:20	552	0,37	0,15	552	1,10	0,54
19	— —	06/11 09:25	624	0,47	0,27	624	1,08	0,61
21	— —	08/11 09:20	672	0,44	0,17	672	1,14	0,58
23	— —	10/11 09:25	720	0,46	0,20	720	1,20	0,62

18 mm:n havuvanerin taipumat on esitetty kuvassa 8.16. Näytteiden käyttäytymisessä oli suuria eroja, myöhemmin koetuksessa olleen ha18s3:n taipumat olivat huomattavasti aikaisemmin koetuksessa olleiden näytteiden taipumia suuremmat.



Kuva 8.16. 18 mm:n havuvanerin taipumat, pintaviilujen syyt jännevälän suuntaan.

Koekappaleiden kosteusprosentin keskimääräinen muutos on esitetty kuvassa 8.17. Alussa kosteus oli 8,9 %. Kokeen edetessä kosteus nousi koekappaleilla, jotka olivat koestuksessa 11.10-10.11.1995 15,2 %:iin. Koestuksessa 15.11-15.12.1995 olleilla näytteillä kosteus nousi korkeammalle eli 16,3 %:iin. Kuvasta näkyy myös selvästi vanereiden kuivuminen lepojaksoiden aikana. Yön aikana vanereiden kosteus pieneni noin 3 %, ja viikonlopun aikana vanerit kuivuivat noin 5 %.



Kuva 8.17. 18 mm:n havuvanerin kosteusprosentin muutos kahdenkymmenen kolmen kuormitus syklin aikana.

8.4.4 Havuvaneri 18 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaa vastaan

Koekappaleet ha18p1 ja ha18p2 olivat koestuksessa 11.10-10.11.1995 ja ha18p3 oli koestuksessa 15.11-15.12.1995. Havuvanerin taipumat kasvoivat ensimmäisellä kuormitus syklistä 0,82-0,86 mm:iin. Kahdenkymmenen kolmen kuormitus syklin jälkeen maksimitaipumat olivat 1,27-1,92 mm. Myöhemmin koestuksessa olleen ha18p3:n taipumat ovat selvästi aikaisemmin tutkittuja suurempia. 18 mm:n havuvanerin maksimitaipumien kasvu on esitetty taulukossa 8.19. Taulukossa on esitetty selkeyden vuoksi vain osa arvoista.

Taulukko 8.19. 18 mm:n havuvanerin taipumien kasvu. Arvot mitattu, kun paine on ollut
päällä 4,5 tuntia.

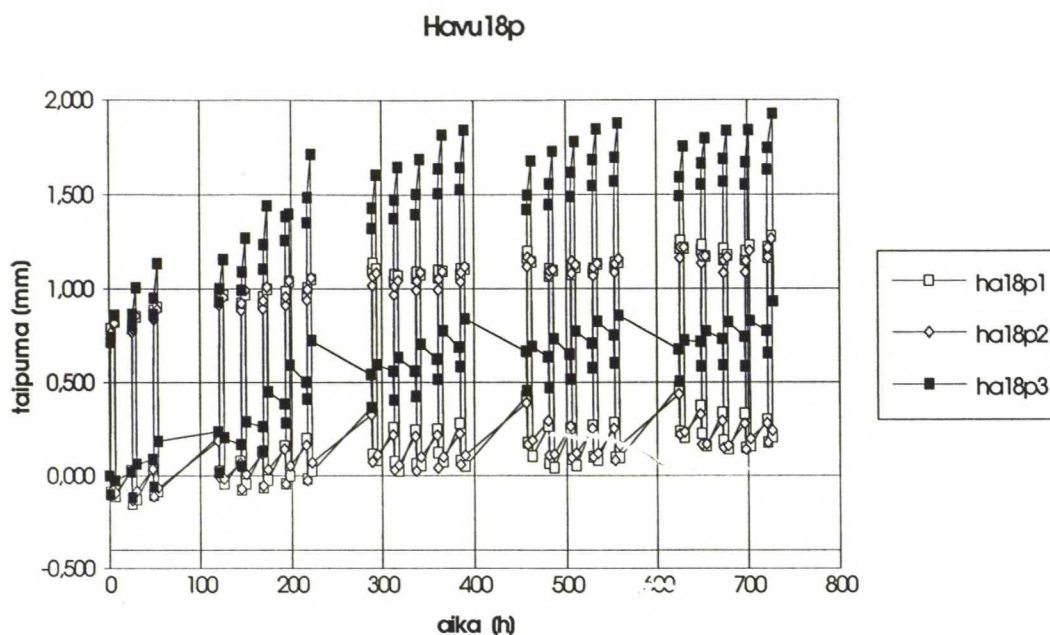
	vaneri	p=34 kPa	t=40°C	ha18p1	ha18p2	15.11-	ha18p3	keskiarvo
	havu18p	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm
1	päällä	11/10 15:50	6	0,82	0,82	6	0,86	0,83
2	- -	12/10 15:30	30	0,85	0,85	30	1,01	0,90
3	- -	13/10 15:25	54	0,90	0,89	54	1,14	0,98
4	- -	16/10 15:35	126	0,96	0,95	126	1,16	1,02
6	- -	18/10 15:05	174	1,00	1,01	174	1,44	1,15
8	- -	20/10 15:35	222	1,05	1,06	222	1,71	1,27
9	- -	23/10 15:40	294	1,11	1,08	294	1,60	1,26
11	- -	25/10 15:35	342	1,08	1,09	342	1,66	1,28
13	- -	27/10 15:30	390	1,10	1,12	390	1,84	1,35
14	- -	30/10 15:30	462	1,14	1,15	462	1,68	1,32
16	- -	01/11 15:50	510	1,11	1,13	510	1,78	1,34
18	- -	03/11 15:35	558	1,14	1,16	558	1,88	1,39
19	- -	06/11 15:35	630	1,22	1,22	630	1,75	1,40
21	- -	08/11 15:30	678	1,18	1,17	678	1,83	1,39
23	- -	10/11 15:30	726	1,28	1,27	728	1,92	1,49

Ensimmäisten kuormitusten jälkeen lopputaipumat oli yön yli tapahtuneen lepojaksen jälkeen alle 0,02-0,03 mm. Seuraavien syklien aikana nämä arvot kasvoivat hitaasti siten, että ne koejakson lopussa pysyvät taipumat olivat 0,28-0,77 mm. Koekappaleen ha18s3:n pysyvät taipumat ovat selvästi suurempia kuin aikaisemmin koestuksessa olleiden näytteiden. Taulukossa 8.20 on pysyvien taipumien kehittyminen eli arvot on mitattu aamuisin, kun vanerit ovat olleet lepotilassa. Taulukossa on selkeyden vuoksi esitetty vain osa arvoista.

Taulukko 8.20. 18 mm:n havuvanerin pysyvien taipumien kasvu. Arvot mitattu ennen koekappaleiden laittamista kostutukseen.

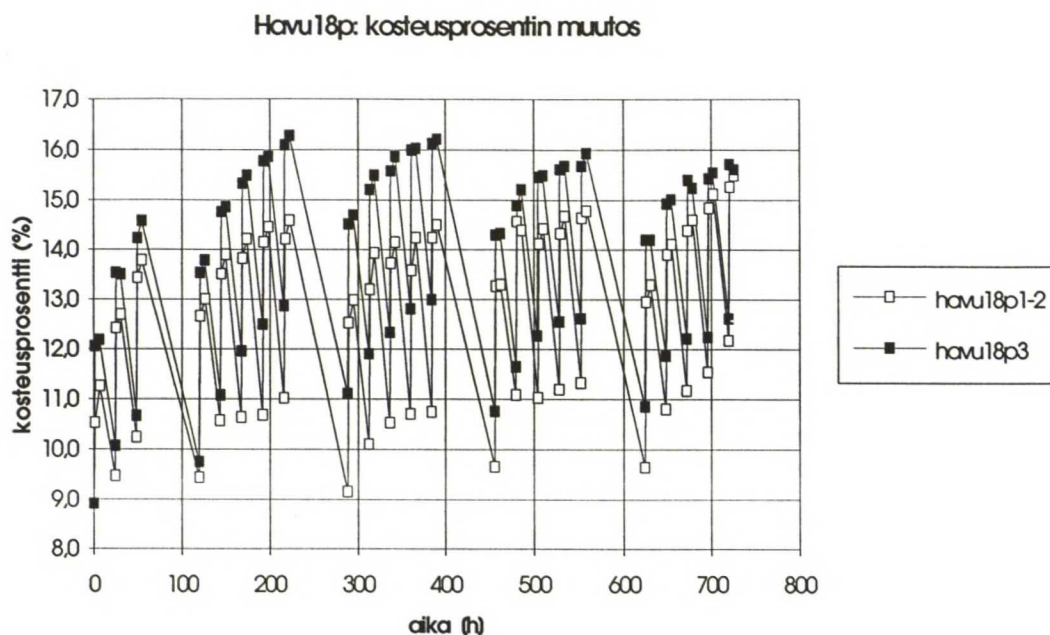
	vaneri	p=34 kPa	t=40°C	ha18p1	ha18p2	15.11-	ha18p3	keskiarvo
	havu18p	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm
1	kuiva	11/10 09:25	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2	- -	12/10 09:25	24	0,03	0,03	24	0,02	0,02
3	- -	13/10 09:20	48	0,04	0,04	48	0,09	0,05
4	- -	16/10 09:30	120	0,21	0,19	120	0,24	0,21
6	- -	18/10 09:00	168	0,13	0,12	168	0,26	0,17
8	- -	20/10 09:25	216	0,20	0,16	216	0,50	0,29
9	- -	23/10 09:30	288	0,37	0,33	288	0,54	0,41
11	- -	25/10 09:25	336	0,24	0,21	336	0,56	0,34
13	- -	27/10 09:25	384	0,28	0,22	384	0,69	0,40
14	- -	30/10 09:25	456	0,43	0,39	456	0,66	0,49
16	- -	01/11 09:40	504	0,25	0,27	503	0,65	0,39
18	- -	03/11 09:20	552	0,28	0,25	552	0,75	0,43
19	- -	06/11 09:25	624	0,47	0,44	624	0,68	0,53
21	- -	08/11 09:20	672	0,34	0,30	672	0,73	0,45
23	- -	10/11 09:25	720	0,30	0,28	720	0,77	0,45

18 mm:n havuvanerin taipumat on esitetty kuvassa 8.18. Näytteiden käyttäytymisessä oli suuria eroja, myöhemmin koestuksessa olleen ha18p3:n taipumat olivat huomattavasti aikaisemmin koestuksessa olleiden näytteiden taipumia suuremmat.



Kuva 8.18. 18 mm:n havuvanerin taipumat, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaa vastaan.

Koekappaleiden kosteusprosentin keskimääräinen muutos on esitetty kuvassa 8.19. Alussa kosteus oli 8,9 %, kokeen edetessä kosteus nousi koekappaleilla, jotka olivat koestuksessa 11.10-10.11.1995 15,5 %:iin. Koestuksessa 15.11-15.12.1995 olleilla näytteillä kosteus nousi korkeammalle eli 16,2 %:iin. Kuvasta näkyy myös selvästi vanereiden kuivuminen lepojaksojen aikana. Yön aikana vanereiden kosteus pieneni noin 3 %, viikonlopun aikana vanerit kuivuivat noin 5 %.



Kuva 8.19. 18 mm:n havuvanerin kosteusprosentin muutos kahdenkymmenen kolmen kuormitus syklin aikana.

8.4.5 Sekavaneri 18 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaan

Koekappaleet co18s1 ja co18s2 olivat koetuksessa 11.10-10.11.1995 ja co18s3 oli koetuksessa 15.11-15.12.1995. Seka- eli combivanerin taipumat kasvoivat ensimmäisellä kuormitus syklillä 0,75-0,78 mm:iin. Kahdenkymmenen kolmen kuormitus syklin jälkeen maksimitaipumat olivat 1,11-1,29 mm. Koekappaleiden väliset erot olivat varsin pieniä. 18 mm:n combivanerin maksimitaipumien kasvu on esitetty taulukossa 8.21. Taulukossa on esitetty selkeyden vuoksi vain osa arvoista.

Taulukko 8.21. 18 mm:n sekavanerin taipumien kasvu. Arvot mitattu, kun paine on ollut
päällä 4,5 tuntia.

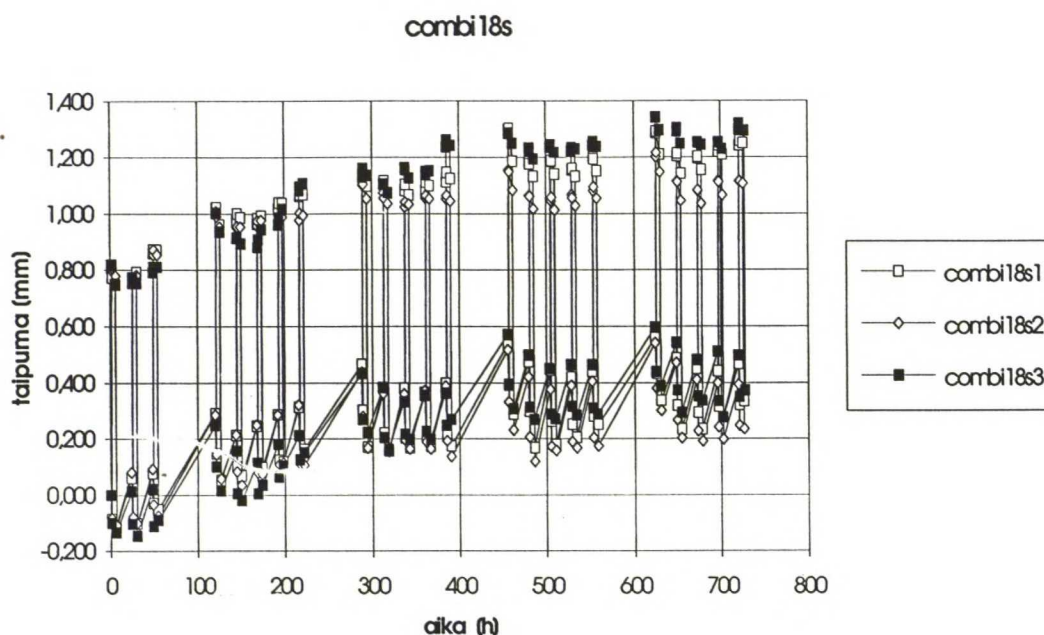
	vaneri	p=34 kPa	t=40°C	co18s1	co18s2	15.11-	co18s3	keskiarvo
	combi18s	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm
1	päällä	11/10 15:50	6	0,75	0,78	6	0,75	0,76
2	- -	12/10 15:30	30	0,79	0,78	30	0,75	0,77
3	- -	13/10 15:25	54	0,87	0,85	54	0,81	0,84
4	- -	16/10 15:35	126	0,96	0,95	126	0,94	0,95
6	- -	18/10 15:05	174	0,99	0,98	174	0,94	0,97
8	- -	20/10 15:35	222	1,07	0,99	222	1,11	1,06
9	- -	23/10 15:40	294	1,10	1,05	294	1,14	1,09
11	- -	25/10 15:35	342	1,07	1,03	342	1,13	1,07
13	- -	27/10 15:30	390	1,12	1,04	390	1,24	1,14
14	- -	30/10 15:30	462	1,19	1,08	462	1,25	1,17
16	- -	01/11 15:50	510	1,14	1,01	510	1,22	1,12
18	- -	03/11 15:35	558	1,15	1,05	558	1,24	1,15
19	- -	06/11 15:35	630	1,21	1,15	630	1,30	1,22
21	- -	08/11 15:30	678	1,15	1,03	678	1,24	1,14
23	- -	10/11 15:30	726	1,25	1,11	728	1,29	1,22

Ensimmäisen kuormituksen jälkeen lopputaipumat olivat yön yli tapahtuneen lepojakson jälkeen 0,01-0,08 mm. Seuraavien syklien aikana nämä arvot kasvoivat hitaasti siten, että koejakson lopussa pysyvät taipumat olivat 0,39-0,50 mm. Taulukossa 8.22 on pysyvien taipumien kehittyminen eli arvot on mitattu aamuisin, kun vanerit ovat olleet lepotilassa. Taulukossa on selkeyden vuoksi esitetty vain osa arvoista.

Taulukko 8.22. 18 mm:n Sekavanerin pysyvien taipumien kasvu. Arvot mitattu ennen koekappaleiden laittamista kostutukseen.

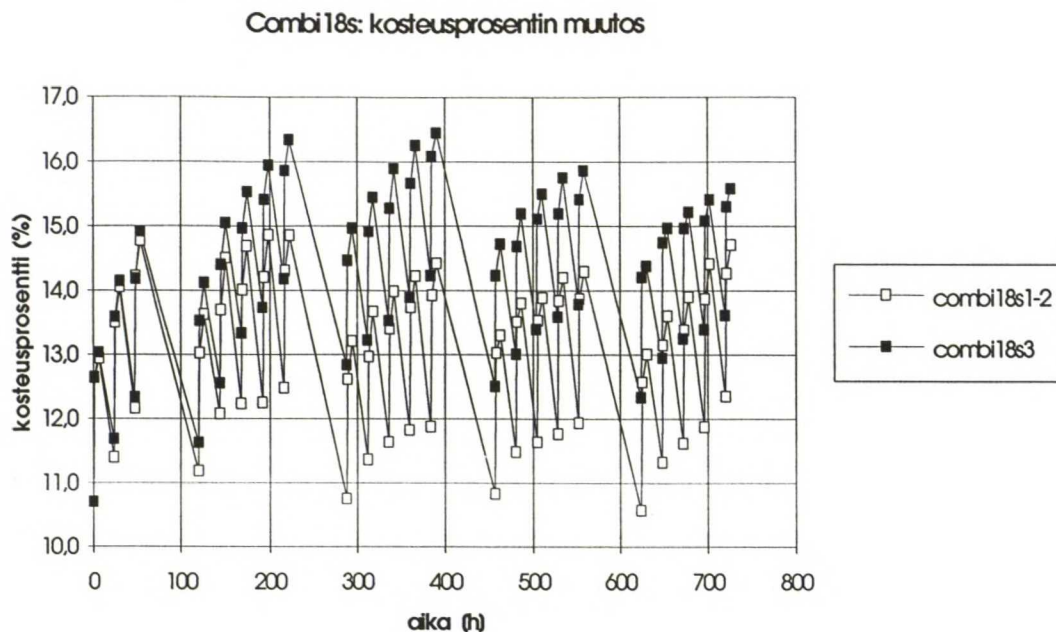
vaneri	p=34 kPa	t=40°C	co18s1	co18s2	15.11-	co18s3	keskiarvo
combi18s	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm
1 kuiva	11/10 09:25	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2 - -	12/10 09:25	24	0,06	0,08	24	0,01	0,05
3 - -	13/10 09:20	48	0,08	0,09	48	0,02	0,06
4 - -	16/10 09:30	120	0,29	0,29	120	0,25	0,27
6 - -	18/10 09:00	168	0,24	0,25	168	0,11	0,20
8 - -	20/10 09:25	216	0,31	0,32	216	0,21	0,28
9 - -	23/10 09:30	288	0,47	0,44	288	0,43	0,45
11 - -	25/10 09:25	336	0,38	0,36	336	0,33	0,36
13 - -	27/10 09:25	384	0,40	0,39	384	0,36	0,38
14 - -	30/10 09:25	456	0,54	0,52	456	0,57	0,54
16 - -	01/11 09:40	504	0,44	0,38	503	0,45	0,42
18 - -	03/11 09:20	552	0,44	0,41	552	0,46	0,44
19 - -	06/11 09:25	624	0,56	0,54	624	0,60	0,57
21 - -	08/11 09:20	672	0,45	0,41	672	0,48	0,45
23 - -	10/11 09:25	720	0,47	0,39	720	0,50	0,45

18 mm:n combivanerin taipumat on esitetty kuvassa 8.20. Näytteiden käyttäytymisessä ei ollut suuria eroja. Kuvasta nähdään, että lepojaksojen aikana taipumat kasvoivat, syynä lieenee se, että toispuoleisen turpoamisen taipumista hidastava vaikutus vähenee vanereiden kuivuessa.



Kuva 8.20. 18 mm:n combivanerin taipumat, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaa vastaan.

Koekappaleiden kosteusprosentin keskimääräinen muutos on esitetty kuvassa 8.21. Alussa kosteus oli 10,7 %, kokeen edetessä kosteus nousi koekappaleilla, jotka olivat koestuksessa 11.10-10.11.1995 14,9 %:iin. Koestuksessa 15.11-15.12.1995 olleilla näytteillä kosteus nousi korkeammalle eli 16,5 %:iin. Kuvasta näkyy myös selvästi vanereiden kuivuminen lepojaksojen aikana. Yön aikana vanereiden kosteus pieneni noin 2 %, ja viikonloppuisin vanerit kuivuivat noin 3,5 %.



Kuva 8.21. 18 mm:n combivanerin kosteusprosentin muutos kahdenkymmenen kolmen kuormitusyklin aikana.

8.4.6 Combivaneri 18 mm, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaa vastaan

Koekappaleet co18p1 ja co18p2 olivat koetuksessa 11.10-10.11.1995 ja co18p3 oli koetuksessa 15.11-15.12.1995. Combivanerin taipumat kasvoivat ensimmäisellä kuormitusyklillä 0,75-0,87 mm:iin. Kahdenkymmenen kolmen kuormitusyklin jälkeen maksimitaipumat olivat 1,29-1,74 mm. Koekappaleiden väliset erot olivat varsin pieniä. 18 mm:n combivanerin maksimitaipumien kasvu on esitetty taulukossa 8.23. Taulukossa on esitetty selkeyden vuoksi vain osa arvoista.

Taulukko 8.23. 18 mm:n combivanerin taipumien kasvu. Arvot mitattu, kun paine on ollut päällä 4,5 tuntia.

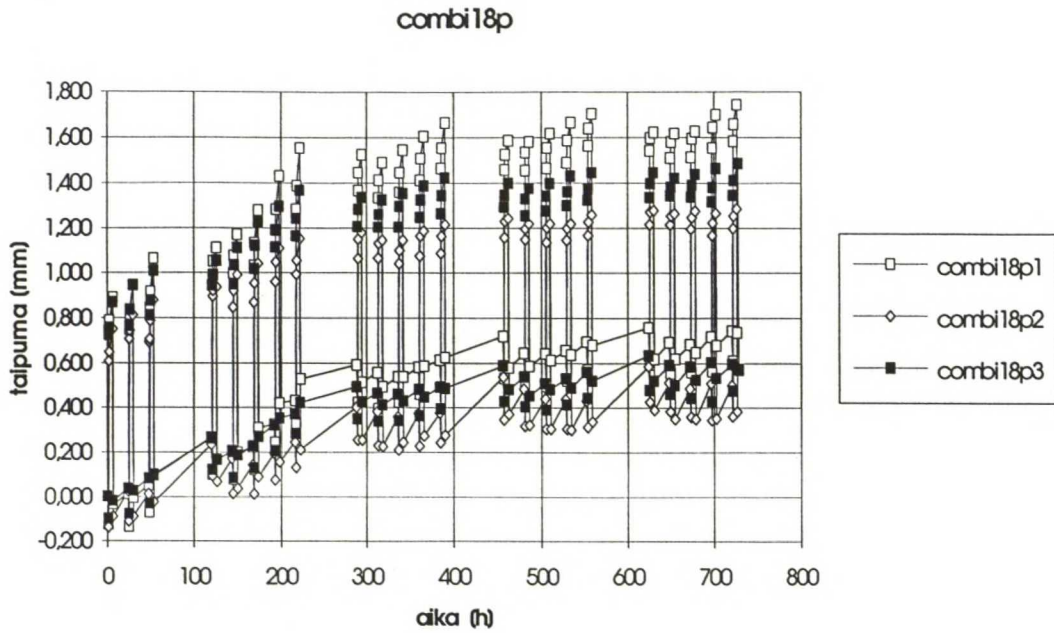
	vaneri	p=34 kPa	t=40°C	co18p1	co18p2	15.11-	co18p3	keskiarvo
	combi18p	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm
1	päällä	11/10 15:50	6	0,89	0,75	6	0,87	0,84
2	- -	12/10 15:30	30	0,94	0,81	30	0,94	0,90
3	- -	13/10 15:25	54	1,06	0,88	54	1,01	0,98
4	- -	16/10 15:35	126	1,11	0,94	126	1,05	1,03
6	- -	18/10 15:05	174	1,28	1,04	174	1,23	1,18
8	- -	20/10 15:35	222	1,55	1,15	222	1,37	1,36
9	- -	23/10 15:40	294	1,52	1,18	294	1,34	1,35
11	- -	25/10 15:35	342	1,54	1,15	342	1,35	1,35
13	- -	27/10 15:30	390	1,66	1,22	390	1,42	1,43
14	- -	30/10 15:30	462	1,59	1,24	462	1,40	1,41
16	- -	01/11 15:50	510	1,62	1,22	510	1,40	1,41
18	- -	03/11 15:35	558	1,70	1,26	558	1,44	1,47
19	- -	06/11 15:35	630	1,62	1,28	630	1,45	1,45
21	- -	08/11 15:30	678	1,63	1,28	678	1,44	1,45
23	- -	10/11 15:30	726	1,74	1,29	728	1,49	1,51

Ensimmäisen kuormituksen jälkeen lopputaipumat olivat yön yli tapahtuneen lepojakson jälkeen 0,01-0,04 mm. Seuraavien syklien aikana nämä arvot kasvoivat hitaasti siten, että koejakson lopussa pysyvät taipumat olivat 0,50-0,74 mm. Taulukossa 8.24 on pysyvien taipumien kehittyminen eli arvot on mitattu aamuisin, kun vanerit ovat olleet lepotilassa. Taulukossa on selkeyden vuoksi esitetty vain osa arvoista.

Taulukko 8.24. 18 mm:n Combivanerin pysyvien taipumien kasvu. Arvot mitattu ennen koekappaleiden laittamista kostutukseen.

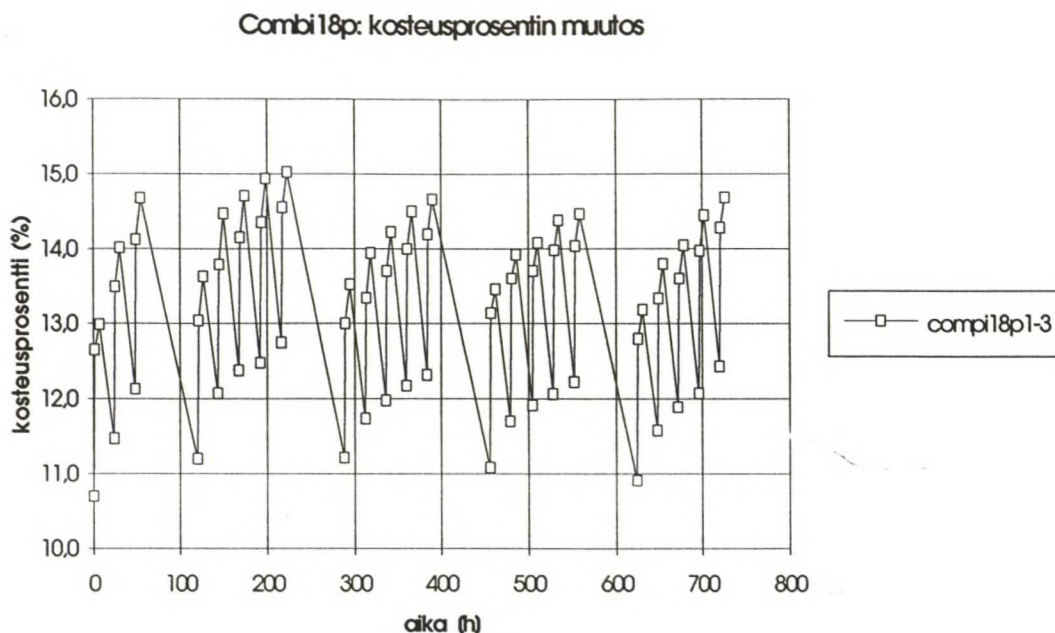
	vaneri	p=34 kPa	t=40°C	co18p1	co18p2	15.11-	co18p3	keskiarvo
	combi18p	aika pp/kk tt:mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm	aika tuntia	taipuma mm	taipuma mm
1	kuiva	11/10 09:25	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
2	- -	12/10 09:25	24	0,01	0,02	24	0,04	0,02
3	- -	13/10 09:20	48	0,05	0,01	48	0,08	0,05
4	- -	16/10 09:30	120	0,27	0,23	120	0,26	0,25
6	- -	18/10 09:00	168	0,22	0,14	168	0,23	0,20
8	- -	20/10 09:25	216	0,43	0,25	216	0,37	0,35
9	- -	23/10 09:30	288	0,59	0,40	288	0,49	0,50
11	- -	25/10 09:25	336	0,54	0,36	336	0,46	0,45
13	- -	27/10 09:25	384	0,61	0,38	384	0,49	0,49
14	- -	30/10 09:25	456	0,72	0,54	456	0,59	0,62
16	- -	01/11 09:40	504	0,64	0,44	503	0,51	0,53
18	- -	03/11 09:20	552	0,69	0,43	552	0,56	0,56
19	- -	06/11 09:25	624	0,76	0,59	624	0,63	0,66
21	- -	08/11 09:20	672	0,68	0,49	672	0,58	0,58
23	- -	10/11 09:25	720	0,74	0,50	720	0,60	0,61

18 mm:n havuvanerin taipumat on esitetty kuvassa 8.22. Näytteiden käyttäytymisessä oli suuria eroja, myöhemmin koestuksessa olleen co18p3:n taipumat olivat huomattavasti aikaisemmin koestuksessa olleiden näytteiden taipumia suuremmat.



Kuva 8.22. 18 mm:n combivanerin taipumat, pintaviilujen syyt jännevälin suuntaa vastaan.

Koekappaleiden kosteusprosentin keskimääräinen muutos on esitetty kuvassa 8.23. Alussa kosteus oli 10,7 %. Kokeen edetessä kosteus nousi koekappaleilla 14,7 %:iin. Kuvasta näkyy myös selvästi vanereiden kuivuminen lepojaksojen aikana. Yön aikana vanereiden kosteus pieneni noin 2 %, viikonlopun aikana vanerit kuivuivat noin 3,5 %.



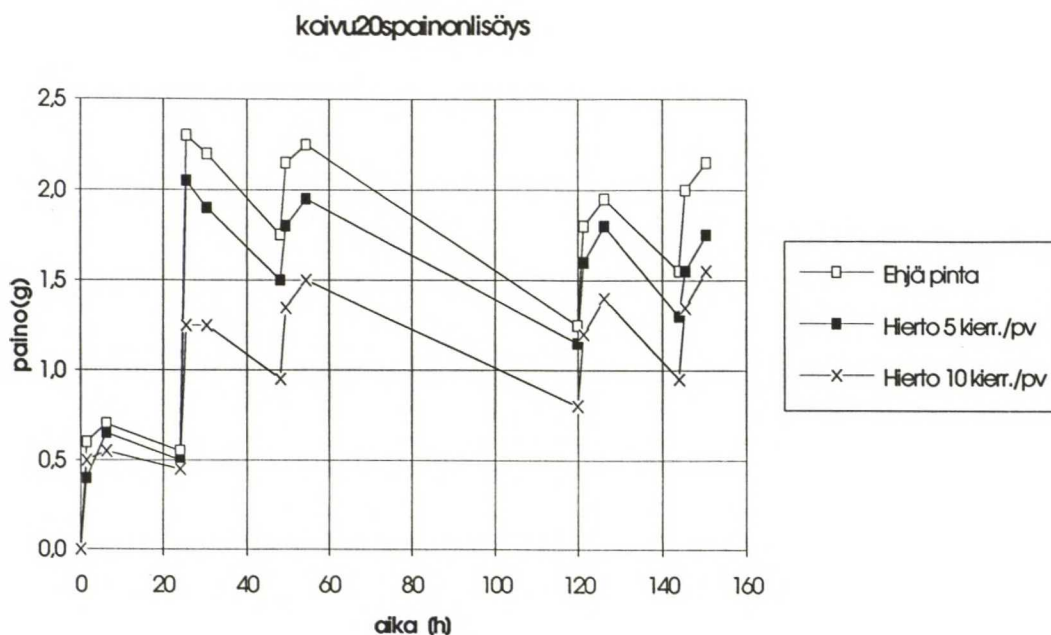
Kuva 8.23. 18 mm:n combivanerin kosteusprosentin muutos kahdenkymmenen kolmen kuormitus syklin aikana.

8.5 VEDENIMUKOKEIDEN TULOKSET

8.5.1 Hiertämisen vaikutus vanerin vedenimukykyyn

Tässä kokeessa kahden näytteen pinta oli jätetty vertailun vuoksi ehjäksi, kahta koekappaletta oli hierretty porakoneeseen kytketyllä hiertimellä viisi kierrosta/päivä ja kahta hierrettiin 10 kierrosta/päivä. Mittaukset suoritettiin 14.6-20.6.1995.

Kostutuksessa käytettiin samaa tapaa kuin varsinaisillakin koekappaleilla eli niitä pidettiin toiselta puolelta vesiupotuksessa yhden tunnin ajan. Vesiupotuksen jälkeen ne laitettiin märän paperin päälle samaksi ajaksi kuin valukoe kesti. Sen jälkeen niiden annettiin kuivua. Kuvassa 8.25 on esitetty vedenimukokeen tulokset samanlaisten näytteiden keskiarvona. Voidaan todeta, että vanerien hionnalla ei tässä tapauksessa ollut merkitystä. Syyksi arveltiin fenolifilmipinnan vaikutuksen ulottumisen niin syväälle, että tämän suuruusella hionnalla ei ollut vaikutusta pinnan vedenimukykyyn. Tässä tapauksessa näyttää jopa siltä, että hionta olisi pienentänyt vedenimua.

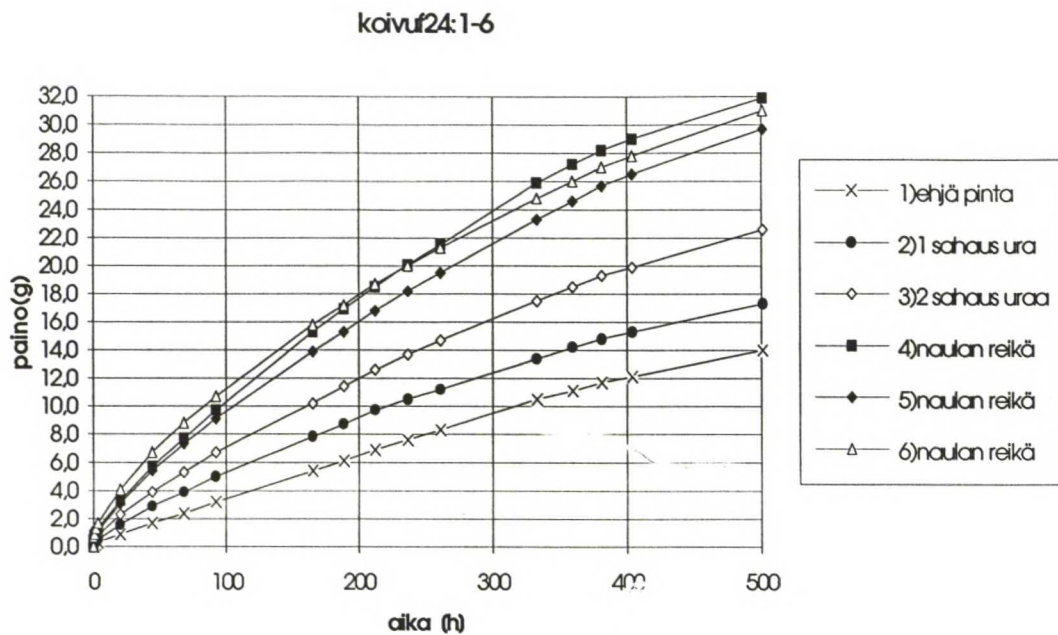


Kuva 8.24. Hierrettyjen vanereiden vedenimukokeen tulokset.

8.5.2 Rikkonaisen pinnan vaikutus vanerin vedenimukykyyn

Tässä kokeessa yhden näytteen pinta jätettiin vertailun vuoksi ehjäksi, muiden pinta rikottiin. Toiseen koekappaleeseen tehtiin pinnan suuntainen sahaus noin 1mm:n syvyydelle sahausjäljen leveyden ollessa noin 2 mm. Sahaus ulottui koko näytteen pinnan yli. Kolmanteen näytteeseen tehtiin kaksi edellisen kaltaista sahausta. Näytteisiin neljä-kuusi iskettiin jokaiseen yksi naulan reikä, reikien ulottuessa koekappaleen puoliväliin. Reikien teossa käytettiin kolmea erikokoista naulaa.

Kuvassa 8.26 on esitetty vedenimukokeen tulokset samanlaisten näytteiden keskiarvona. Mittaukset ovat ajalta 10.7-31.7.1995. Koekappaleet, joissa on naulan reikä imevät selvästi enemmän vettä kuin näytteet, joihin on sahattu uria.



Kuva 8.25. Vanereiden, joiden pinta rikottu, vedenimukokeen tulokset.

9 TULOSEN ANALYSOINTI

9.1 TUTKITUN VANERIN OMINAISUUDET

Valua jäljittelevissä kokeissa käytetyt vanerit olivat 18 mm:n ja 20 mm:n koivuvaneri, 18 mm:n havuvaneri ja 18 mm:n combivaneri, jotka olivat pinnoittamattomia sekä 24 mm:n filmipintainen koivuvaneri.

18 mm:n koivuvanerinäytteiden paksuus oli 17,7 mm ja 20 mm:n näytteiden paksuus oli 20,0 mm. Paksuuden vaihtelut olivat koivuvanereilla vain noin $\pm 0,1$ mm keskiarvosta. 18 mm:n havuvanerinäytteiden paksuudeksi saatiin ensimmäisen koesarjan vanerilla 17,7 mm, ja neljännessä koesarjassa olleilla koekappaleilla 17,9 mm. Paksuuden vaihtelut olivat havuvanereilla $\pm 0,1$ mm keskiarvosta. 24 mm:n filmipintaisen koivuvanerin paksuus oli noin 23,6 mm, koekappaleiden poikkeamat keskiarvosta olivat $\pm 0,2$ mm.

Vanereiden kosteus säilytyksessä olleilla vanereilla vaihteli välillä 5,8-10,7 %. Koivuvanerin kosteus oli 18 mm:n vanerilla 8,9 % ja 20 mm:n vanerilla 7,6 %, 24 mm:n filmipinnoitetun koivuvanerin kosteus vaihteli koe-erien välillä 7,5 %:sta 9,1 %:iin. Havuvanereiden kosteus oli kahdella eri koe-erällä 6,6 % ja 8,9 %. Combivanereiden kosteudeksi saatiin 10,7 %. Hajonta oli samasta erästä otetuilla näytteillä $\pm 0,25$ % keskiarvosta kaikilla muilla vanereilla paitsi yhdellä 24 mm:n filmipintaisen koivuvanerin näyte-erällä, jolla poikkeama keskiarvosta oli $\pm 0,75$ %.

Koivuvanerin tiheys vaihteli välillä 587 kg/m³-718 kg/m³. 15 mm:n koivuvanerin tiheys oli säilytyskosteudessa 667 kg/m³, 18 mm:n tiheydeksi saatiin noin 720 kg/m³, 20 mm:n tiheys oli 587 kg/m³ ja 24 mm:n filmipinnoitetun koivuvanerin tiheys oli noin 620 kg/m³. 18 mm:n havuvanerin tiheys vaihteli välillä 484 kg/m³-520 kg/m³. 18 mm:n sekavanerin tiheys oli noin 580 kg/m³.

Kokeissa käytetyt vanerit olivat silmämääräisen tarkastelun perusteella hyväkuntoisia, tosin levyissä oli selviä väri vaihteluja. Niissä vanereissa, joissa ei ollut filmipintaa oli näkyvissä pieniä halkeamia.

Levyjen reunojen suojauksena käytetty silikoni oli yleensä pysynyt hyvin paikallaan, eikä reunoista tapahtuvaa veden imeytymistä havaittu.

9.2 VALUA JÄLJITTELEVÄT KOKEET

Kahdessa ensimmäisessä koesarjassa oli maksimipaine 40 kN/m^2 ja käytetty lämpötila 40°C . Tutkittavat vanerit näissä kokeissa olivat 15 mm koivuvaneri, 18 mm havuvaneri, 20 mm koivuvaneri, jotka olivat pinnoittamattomia, sekä 24 mm fenolifilmipintainen koivuvaneri.

Kolmannessa koesarjassa oli käytetty paine 34 kN/m^2 ja koelämpötila 40°C . Tutkittavat vanerit olivat 18 mm:n koivu-, havu-, combivanereita.

9.2.1 Taipumat

Ensimmäisessä koesarjassa 20 mm:n koivuvanereiden taipumat kuormituksessa, mitattuna 250 mm:n, kasvoivat viidellätoista kuormitusyhtäyksellä $1,2 \text{ mm}$:iin, ja olivat yön yli kestäneen lepojakson jälkeen $0,6 \text{ mm}$. Filmipintaisen 24 mm:n koivuvanerin keskimääräinen taipuma viidentoista syklin koestuksessa nousi $0,7 \text{ mm}$:iin, ja oli lepojakson jälkeen vain $0,1 \text{ mm}$.

Toisessa koesarjassa tutkittiin kahta erilaisella käsiteltyä 24 mm:n filmipintaista koivuvaneria, joista toiseen oli sahattu pituussuuntaisia uria ja toiseen oli porattu reikiä.

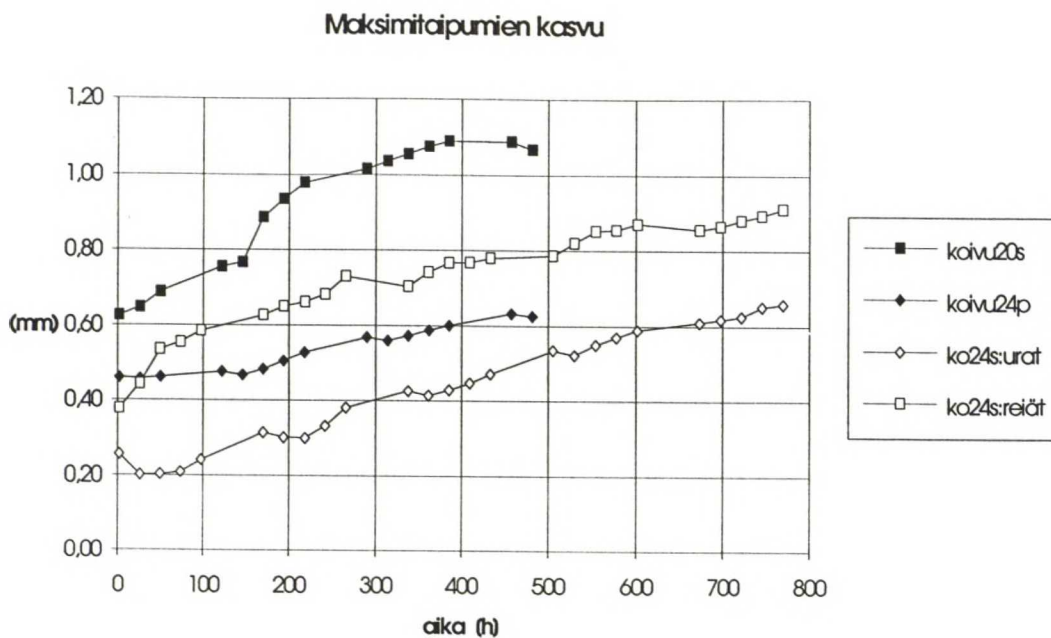
Vanerin, johon oli sahattu uria taipuma viidentoista kuormitusyhtäyksen jälkeen oli $0,6 \text{ mm}$ eli $0,1 \text{ mm}$ pienempi kuin yhtä monta kertaa poikkisuuntaan kuormitetun ehjäpintaisen vanerin. Vanereiden, joissa oli kaksi pituussuuntaista uraa, taipuma paineen alaisena kasvoi kahdellakymmenellä viidellä kuormitusyhtäyksellä $0,7 \text{ mm}$:iin. Yön yli kestäneen lepotilan jälkeen mitatut muodonmuutokset nousivat 25:llä kuormituksella $0,3 \text{ mm}$:iin, mutta viidentoista syklin jälkeen pysyvä taipuma oli $0,1 \text{ mm}$ eli sama kuin aikaisemmin tutkitulla ehjällä vanerilla.

Koekappaleiden, joihin oli porattu reikiä taipumat rasituksessa lisääntyivät kahdenkymmenen viiden syklin jälkeen $0,9 \text{ mm}$:iin, jonka taipuman ne olivat saavuttaneet jo 15 syklin jälkeen eli taipumat olivat $0,2 \text{ mm}$ suuremmat kuin ehjällä ja sahatulla vanerilla. Pysyvät muodonmuutokset olivat kahdenkymmenen viiden kuormitusyhtäyksen jälkeen $0,5 \text{ mm}$.

Taulukossa 9.1 on esitetty ensimmäisen ja toisen koesarjan vanereiden taipumien kasvusta yhteenveto. Taulukossa olevat arvot on mitattu, kun koestuslaitteella on saavutettu 40 kPa paine.

Taulukko 9.1. Vanereiden taipuman kasvu.

p=40 kPa	t=40 °C	koivu20s	koivu24p		koivu24s	koivu24s
Kuormitus- sykli	aika tuntia	mm	mm	aika tuntia	sah. urat mm	por. reiät mm
1	2	0,63	0,46	2	0,26	0,38
2	26	0,65	0,46	26	0,20	0,44
3	50	0,69	0,46	50	0,20	0,54
4	122	0,75	0,48	74	0,21	0,56
5	146	0,77	0,47	98	0,24	0,58
6	170	0,89	0,48	170	0,31	0,63
7	194	0,94	0,51	194	0,30	0,65
8	218	0,98	0,53	219	0,30	0,66
9	290	1,02	0,57	242	0,33	0,68
10	314	1,04	0,56	266	0,38	0,73
11	338	1,06	0,57	338	0,43	0,70
12	362	1,08	0,59	362	0,41	0,74
13	386	1,09	0,60	386	0,43	0,77
14	458	1,09	0,63	410	0,45	0,77
15	482	1,07	0,62	434	0,47	0,78
16	-	-	-	506	0,54	0,79
17	-	-	-	530	0,52	0,82
18	-	-	-	554	0,55	0,85
19	-	-	-	578	0,57	0,86
20	-	-	-	601	0,59	0,87
21	-	-	-	673	0,61	0,86
22	-	-	-	698	0,62	0,86
23	-	-	-	722	0,63	0,88
24	-	-	-	746	0,65	0,89
25	-	-	-	770	0,66	0,91



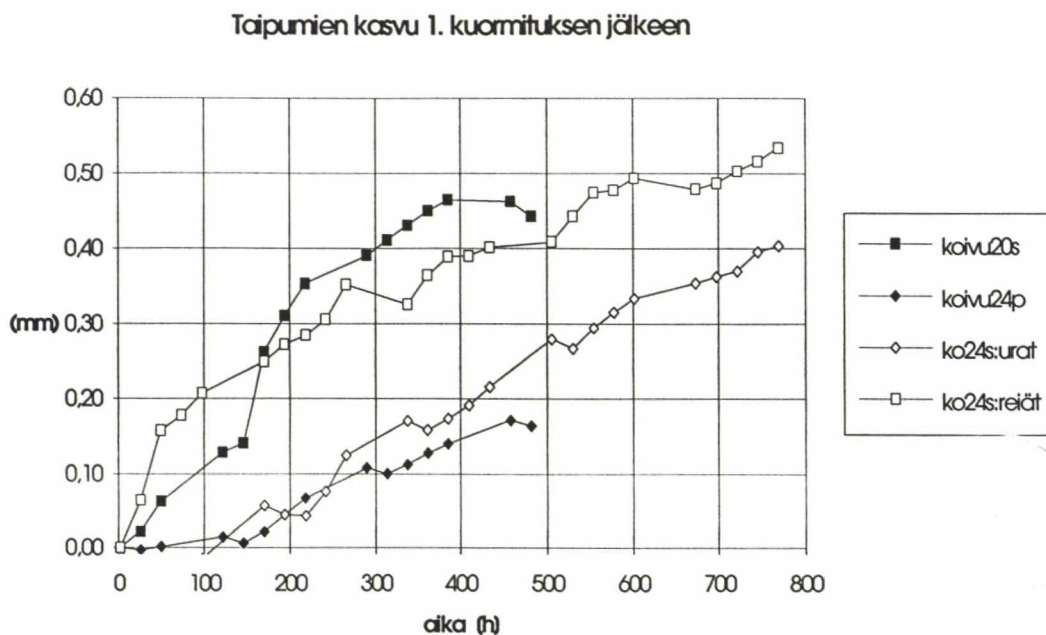
Kuva 9.1. Vanerien maksimitaipuman kasvu.

Taipumien kasvu koesarjan aikana on esitetty taulukossa 9.2. Siinä nähdään kuinka paljon taipumat ovat lisääntyneet 1. taipumamittauksen jälkeen. Myös tässä on käytetty arvoja, jotka on mitattu heti, kun koestuslaitteessa on saavutettu 40 kPa paine.

Koivu20s:llä taipumat kasvoivat 0,44 mm:ä ja koivu24p:llä 0,16 mm:ä viidentoista syklin aikana. Koivu24s:n, jossa oli kaksi pituussuuntaista uraa, taipuma kasvoi 0,40 mm:ä ja koivu24s:n, jossa oli porattuja reikiä taipuma kasvoi 0,53 mm:ä kahdellakymmenellä viidellä kuormitusylläillä. Kun verrataan näitä arvoja 1. syklin arvoihin huomataan, että suhteellisesti eniten koesarjan aikana taipumat kasvoivat koivu24s:llä, joihin oli sahattu uria tai porattu reikiä, näillä taipumat noin kaksinkertaistuivat kokeen aikana. Suhteellisesti pienin kasvu kokeen aika oli koivu24p:llä, jolla koesarjan aikana taipumat kasvoivat 1. taipumaan verrattuna vain noin kolmekymmentä prosenttia.

Taulukko 9.2. Taipumien kasvu 1. kuormituksen jälkeen.

p=40 kPa	t=40 °C	koivu20s	koivu24p		koivu24s	koivu24s
Kuormitus- sykli	aika tuntia	mm	mm	aika tuntia	sah. urat mm	por. reiät mm
1	2	0,00	0,00	2	0,00	0,00
2	26	0,02	0,00	26	-0,05	0,06
3	50	0,06	0,00	50	-0,05	0,16
4	122	0,13	0,01	74	-0,05	0,18
5	146	0,14	0,01	98	-0,02	0,21
6	170	0,26	0,02	170	0,06	0,25
7	194	0,31	0,04	194	0,05	0,27
8	218	0,35	0,07	219	0,04	0,28
9	290	0,39	0,11	242	0,08	0,31
10	314	0,41	0,10	266	0,12	0,35
11	338	0,43	0,11	338	0,17	0,33
12	362	0,45	0,13	362	0,16	0,36
13	386	0,46	0,14	386	0,17	0,39
14	458	0,46	0,17	410	0,19	0,39
15	482	0,44	0,16	434	0,22	0,40
16	-	-	-	506	0,28	0,41
17	-	-	-	530	0,27	0,44
18	-	-	-	554	0,29	0,47
19	-	-	-	578	0,32	0,48
20	-	-	-	601	0,33	0,49
21	-	-	-	673	0,35	0,48
22	-	-	-	698	0,36	0,49
23	-	-	-	722	0,37	0,50
24	-	-	-	746	0,40	0,52
25	-	-	-	770	0,40	0,53



Kuva 9.2. Taipumien kasvu 1. kuormituksen jälkeen.

Kolmannessa koesarjassa tutkittavat vanerit olivat 18 mm:n koivu-, havu-, combivanereita. Kaikkia tässä koesarjassa tutkittuja koekappaleita kuormitettiin kaksikymmentä kolme kuormitusyhtiä.

Koivuvanereiden taipumat kuormituksessa nousivat pintaviilut jännevälin suuntaan kuormitetuilla koekappaleilla 0,8 mm:iin ja pintaviilut jänneväliä vastaa kuormitetuilla näytteillä 1,0 mm:iin. Pysyvät muodonmuutokset olivat vastaavasti suurimmillaan 0,4 mm ja 0,5 mm.

Havuvanereiden taipumat kuormituksen aikana kasvoivat pintaviilut jännevälin suuntaan kuormitetuilla koekappaleilla 1,9 mm:iin ja pintaviilut jänneväliä vastaan koestetuilla näytteillä taipumat rasituksessa nousivat 1,5 mm:iin. Lepotilassa muodonmuutokset olivat vastaavasti suurimmillaan 0,6 mm ja 0,5 mm.

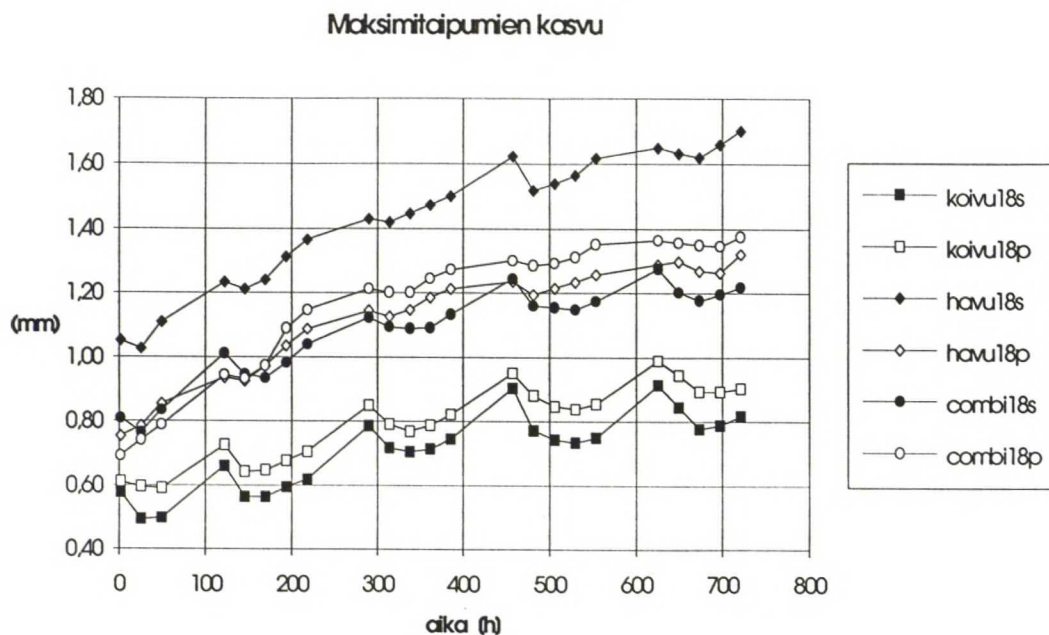
Sekavanereiden taipumat kuormituksen alaisina kasvoivat pintaviilut jännevälin suuntaan kuormitetuilla koekappaleilla 1,2 mm:iin ja pintaviilut jänneväliä vastaa koestetuilla näytteillä taipumat rasituksessa nousivat 1,5 mm:iin. Pysyvät muodonmuutokset olivat vastaavasti suurimmillaan 0,6 mm ja 0,7 mm.

Tässä koesarjassa 18 mm:n koivuvanerin taipumat olivat pienimmät, toiseksi pienimmät taipumat olivat pintaviilut syynsuuntaan kuormitetulla sekavanerilla, suurimmat taipumat olivat pintaviilut syynsuuntaan koestetulla havuvanerilla. Koivu- ja sekavanereilla pienimmät taipumat tulivat vanereilla, joita kuormitettiin pintaviilut jännevälin suuntaan, havuvanerilla taas pintaviilut poikittain kuormitettu taipui vähemmän.

Taulukossa 9.3 on esitetty kolmannen koesarjan vanereiden taipumien kasvusta yhteenveto. Taulukossa olevat arvot on mitattu, kun koestuslaitteella on saavutettu 34 kPa paine.

Taulukko 9.3. Vanereiden taipuman kasvu.

p=34 kPa	t=40 °C	koivu18s	koivu18p	havu18s	havu18p	combi18s	combi18p
Kuormitus- sykli	aika tuntia	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	2	0,58	0,61	1,05	0,75	0,81	0,69
2	26	0,49	0,60	1,03	0,78	0,76	0,74
3	50	0,50	0,59	1,11	0,85	0,83	0,79
4	122	0,66	0,72	1,23	0,94	1,01	0,94
5	145	0,56	0,64	1,21	0,92	0,95	0,93
6	169	0,56	0,65	1,24	0,97	0,93	0,97
7	194	0,60	0,68	1,31	1,04	0,98	1,09
8	218	0,62	0,71	1,37	1,09	1,04	1,15
9	290	0,78	0,85	1,43	1,14	1,12	1,21
10	314	0,72	0,79	1,42	1,13	1,09	1,20
11	338	0,71	0,77	1,45	1,15	1,09	1,20
12	362	0,71	0,79	1,47	1,19	1,09	1,25
13	386	0,74	0,82	1,50	1,21	1,13	1,27
14	458	0,90	0,95	1,62	1,24	1,24	1,30
15	481	0,77	0,88	1,52	1,19	1,16	1,29
16	506	0,74	0,85	1,54	1,22	1,16	1,29
17	530	0,73	0,84	1,56	1,23	1,15	1,31
18	554	0,75	0,85	1,62	1,26	1,17	1,35
19	626	0,91	0,99	1,65	1,29	1,28	1,36
20	650	0,84	0,94	1,63	1,30	1,20	1,36
21	674	0,78	0,89	1,62	1,27	1,18	1,35
22	698	0,79	0,89	1,66	1,26	1,20	1,35
23	722	0,82	0,90	1,70	1,32	1,22	1,38

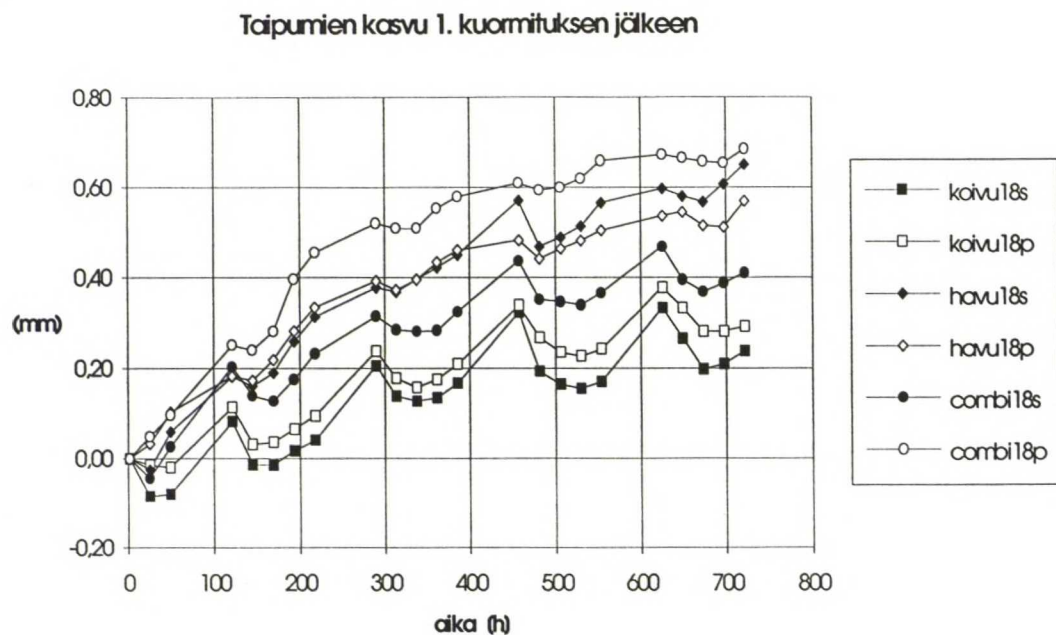


Kuva 9.3. Vanerien maksimitaipuman kasvu.

Taipumien kasvu koesarjan aikana on esitetty taulukossa 9.4. Tästä nähdään kuinka paljon taipumat ovat lisääntyneet 1. taipumamittauksen jälkeen. Myös tässä on käytetty arvoja, jotka on mitattu heti, kun koestuslaitteessa on saavutettu 34 kPa paine. Koivulla taipumat kasvoivat koesarjan aikana 0,24 mm ja 0,29 mm, havulla 0,65 mm ja 0,57 mm ja sekavanerilla 0,41 mm ja 0,68 mm. Poikkisyynsuuntaan kuormitetun koivu- ja sekavanerin vanerin taipumat lisääntyivät enemmän, mutta syynsuuntaan kuormitetun havuvanerin taipumat olivat suurempia. Kun verrataan näitä arvoja 1. syklin arvoihin huomataan, että koivulla koesarjan aikana taipumat kasvoivat noin puolitoistakertaiseksi, havulla hieman yli puolitoistakertaiseksi. Poikkisyynsuuntaan kuormitetun sekavanerin taipumat kasvoivat kokeen aikana kaksinkertaiseksi, ja syynsuuntaan kuormitetulla vanerilla kasvu oli 1. kuormituksen jälkeen puolitoistakertainen.

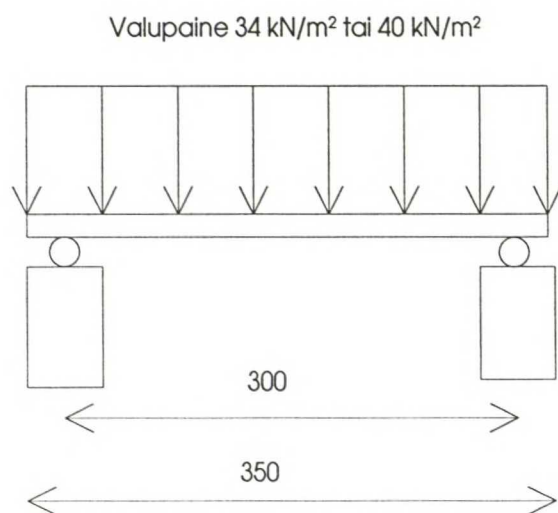
Taulukko 9.4. Taipumien kasvu 1. kuormituksen jälkeen.

p=34 kPa	t=40 °C	koivu18s	koivu18p	havu18s	havu18p	combi18s	combi18p
Kuormitus- sykli	aika tuntia	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	26	-0,08	-0,01	-0,02	0,03	-0,04	0,05
3	50	-0,08	-0,02	0,06	0,10	0,03	0,10
4	122	0,08	0,11	0,18	0,18	0,20	0,25
5	145	-0,01	0,03	0,16	0,17	0,14	0,24
6	169	-0,01	0,04	0,19	0,22	0,13	0,28
7	194	0,02	0,06	0,26	0,28	0,17	0,40
8	218	0,04	0,09	0,31	0,33	0,23	0,45
9	290	0,21	0,24	0,38	0,39	0,32	0,52
10	314	0,14	0,18	0,37	0,37	0,29	0,51
11	338	0,13	0,16	0,40	0,39	0,28	0,51
12	362	0,13	0,18	0,42	0,43	0,28	0,55
13	386	0,17	0,21	0,45	0,46	0,33	0,58
14	458	0,32	0,34	0,57	0,48	0,44	0,61
15	481	0,19	0,27	0,47	0,44	0,35	0,59
16	506	0,16	0,24	0,49	0,46	0,35	0,60
17	530	0,15	0,23	0,51	0,48	0,34	0,62
18	554	0,17	0,24	0,57	0,50	0,37	0,66
19	626	0,33	0,38	0,60	0,54	0,47	0,67
20	650	0,27	0,33	0,58	0,55	0,40	0,66
21	674	0,20	0,28	0,57	0,52	0,37	0,66
22	698	0,21	0,28	0,61	0,51	0,39	0,65
23	722	0,24	0,29	0,65	0,57	0,41	0,68



Kuva 9.4. Taipumien kasvu 1. kuormituksen jälkeen.

Kuvassa 9.5 on esitetty vaneriin vaikuttavat voimat.



Kuva 9.5. Valupaineen vaikutus vaneriin.

Vanereiden taipuma voidaan laskea kaavalla:

$$w = \frac{5qL^4}{384EI} + \frac{qL^2}{8J}, \quad (11)$$

missä

- w taipuma (m)
q kokonaiskuorma (kN/m²)
L jänneväli
E kimmomoduuli
 $I = \frac{bh^3}{12}$
 $J = \frac{5GA}{6}$
G liukumoduuli
A = h * b

Taulukossa 9.5 on verrattu kokeessa saatua taipumaa vastaavaan yllä olevalla kaavalla saatuun arvoon.

Taulukko 9.5. Laskemalla saadut taipumat.

	Tunnus	I	E	G	EI	b	J	$5ql^2/384EI$	$ql^2/8 \cdot J$	W
		mm²*²	N/mm²	N/mm²	Nmm²	mm	N	mm	mm	mm
1	ko20s,max	78400	6848	68	536883200	20	113333	0,786	0,397	1,18
2	ko20s,min	78400	4794	30	375849600	20	50000	1,122	0,900	2,02
3	kof24p,max	115200	5392	68	621158400	23,5	133167	0,679	0,338	1,02
4	kof24p,min	115200	3774	30	434764800	23,5	58750	0,970	0,766	1,74
5	kof24s,max	115200	6752	68	777830400	23,6	133733	0,542	0,336	0,88
6	kof24s,min	115200	4726	30	544435200	23,6	59000	0,775	0,763	1,54
7	ko18s,max	50300	6984	68	351295200	17,8	100867	1,021	0,379	1,40
8	ko18s,min	50300	4889	30	245916700	17,8	44500	1,458	0,860	2,32
9	ko18p,max	50300	5152	68	259145600	17,7	100300	1,384	0,381	1,77
10	ko18p,min	50300	3606	30	181381800	17,7	44250	1,977	0,864	2,84
11	ha18s,max	49900	5344	29	266665600	17,9	43258	1,345	0,884	2,23
12	ha18s,min	49900	3741	13	186675900	17,9	19392	1,921	1,972	3,89
13	ha18p,max	49900	3952	29	197204800	17,9	43258	1,818	0,884	2,70
14	ha18p,min	49900	2766	13	138023400	17,9	19392	2,598	1,972	4,57
15	co18s,max	50200	6296	47	316059200	18	70500	1,135	0,543	1,68
16	co18s,min	50200	4407	20	221231400	18	30000	1,621	1,275	2,90
17	co18p,max	50200	5152	47	258630400	18,1	70892	1,387	0,540	1,93
18	co18p,min	50200	3606	20	181021200	18,1	30167	1,981	1,268	3,25

Vanerien taipumat on laskettu E:n aikavaikutuskertoimilla 1,0 ja 0,7 ja G:n aikavaikutuskertoimilla 0,8 ja 0,35.

Taulukko 9.6. Mitattu ja laskemalla saatu taipuma.

		Mitattu taipuma (mm)	Laskettu taipuma (mm)
1	koivu20s	0,73-1,13	1,18-2,02
2	koivu24p	0,51-0,66	1,02-1,74
3	koivu24s urat	0,28-0,73	0,88-1,54
4	koivu24s reiät	0,42-0,93	0,88-1,54
5	koivu18s	0,53-0,80	1,40-2,32
6	koivu18p	0,64-0,94	1,77-2,84
7	havu18s	1,03-1,85	2,23-3,89
8	havu18p	0,83-1,49	2,70-4,57
9	combi18s	0,76-1,22	1,68-2,90
10	combi18p	0,84-1,51	1,93-3,25

Vanerin taipumat koestuksessa jäi huomattavasti pienemmäksi kuin vanerille laskettu taipuma. Ero johtuu ainakin osittain siitä, että laskettujen arvojen korjauskerroin kosteille olosuhteille on määritetty 27 %:n kosteudessa, joka on yli 10 %:ia suurempi kuin mitattujen vanereiden kosteus. Mitatut arvot ovat kunkin koesarjan alusta ja lopusta.

9.2.2 Kosteus

Ensimmäisestä koesarjasta alkaen otettiin mittauksiin mukaan myös koekappaleiden painon muutosten seuranta. Koekappaleiden painot mitattiin aamulla ennen kostutusta, kostutuksen jälkeen, ja iltapäivisin kun koekappaleet oli kuormitettu.

Ensimmäisessä koesarjassa 20 mm:n koivuvanereiden kosteus kasvoivat viidellätoista kuormitusyöklillä 7,5 %:sta 16,5 %:iin. Filmipintaisten 24 mm:n koivuvanerin kosteus viidentoista syklin koestuksessa nousi 7,5 %:sta 11,5 %:iin.

Toisessa koesarjassa tutkittiin kahta erilailla käsiteltyä 24 mm:n filmipintaista koivuvaneria, joista toiseen oli sahattu pituussuuntaisia uria ja toiseen oli porattu reikiä.

Vanereiden, joihin oli sahattu kaksi pituussuuntaista uraa, kosteus kasvoi kahdellakymmenellä viidellä kuormitusyöklillä 9,1 %:sta 17,5 %:iin. Lepotilassa yön aikana vanereiden kosteus pieneni noin 1,5 %. Viikonlopun aikana vanerit kuivuivat noin 3-3,5 %.

Koekappaleiden, joihin oli porattu reikiä, kosteus lisääntyi kahdenkymmenen viiden syklin aikana 9,1 %:sta 15,3 %:iin. Yön aikana vanereiden kosteus pieneni noin 0,5 %, ja viikonloppuisin vanerit kuivuivat noin 1,5 %.

Kolmannessa koesarjassa tutkittavat vanerit olivat 18 mm:n koivu-, havu-, combivanereita. Kaikkia tässä koesarjassa tutkittuja koekappaleita kuormitettiin kaksikymmentä kolme kuormitus sykliä.

Koivuvanereiden kosteus nousi pintaviilut jännevälin suuntaan kuormitetuilla koekappaleilla 8,9 %:sta 13,9-15,1 %:iin. Yön aikana vanereiden kosteus pieneni noin 2 %, ja viikonloppuisin vanerit kuivuivat noin 4 %. Pintaviilut jänneväliä vastaa kuormitetuilla näytteillä kosteus kasvoi 8,9 %:sta 14,7-15,1 %:iin. Yön aikana vanereiden kosteus pieneni noin 3 %, ja viikonloppuisin vanerit kuivuivat noin 4 %.

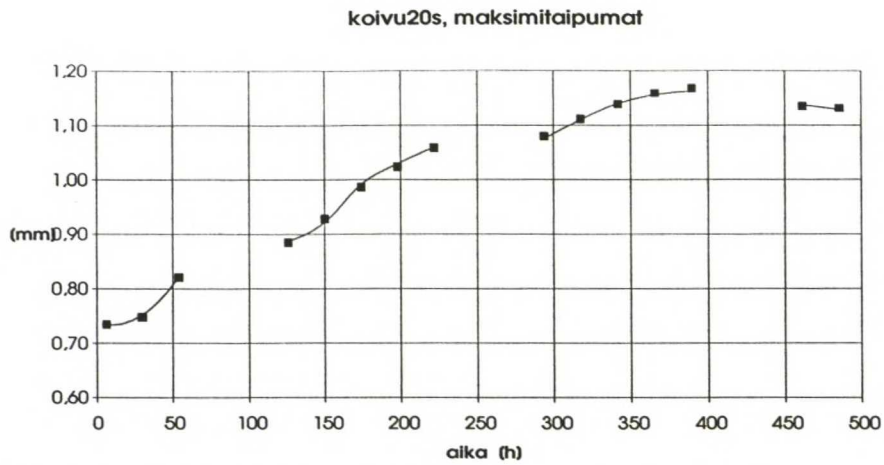
Havuvanereiden kosteus kasvoi pintaviilut jännevälin suuntaan kuormitetuilla koekappaleilla 8,9 %:sta 15,2-16,3 %:iin. Pintaviilut jänneväliä vastaa kuormitetuilla näytteillä kosteus kasvoi 8,9 %:sta 15,5-16,2 %:iin. Kumpienkin koekappaleiden kosteus pieneni yön aikana noin 3 %, ja viikonloppuisin vanerit kuivuivat noin 5 %.

Sekavanereiden kosteus nousi pintaviilut jännevälin suuntaan kuormitetuilla koekappaleilla 10,7 %:sta 14,9-16,5 %:iin. Pintaviilut jänneväliä vastaa kuormitetuilla näytteillä kosteus kasvoi 10,7 %:sta 14,7 %:iin. Kumpienkin koekappaleiden kosteus pieneni yön aikana noin 2 %, ja viikonloppuisin vanerit kuivuivat noin 3,5 %.

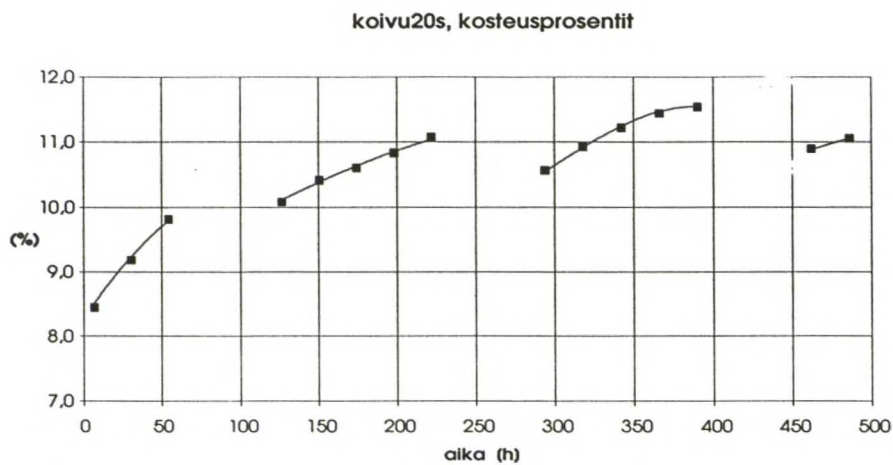
Pinnoittamattomien vanereiden kosteus nousi noin 15-16 %:iin kaikilla vanerilaaduilla, havuvanereiden kosteusprosentti kasvoi hieman suuremmaksi kuin koivu- ja sekavanereilla. Vastaavasti havuvanereiden kuivuminen oli hieman suurempaa lepojaksoiden aikana. Ehjän filmipintaisen koivuvanerin kosteus kasvoi kokeen aikana vain noin 11,5 %:iin. Vanerin pintaan sahatut urat ja poratut reiät lisäsivät huomattavasti kosteuden imeytymistä koekappaleisiin.

9.2.3 Kosteuden vaikutus taipumiin

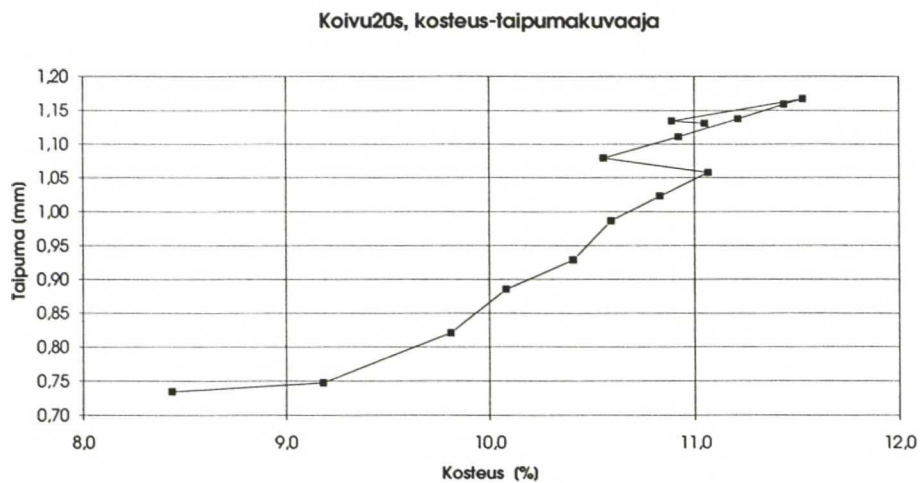
Tässä luvussa tutkitaan minkälainen vaikutus kosteuden muuttumisella on vanerin taipumiin.



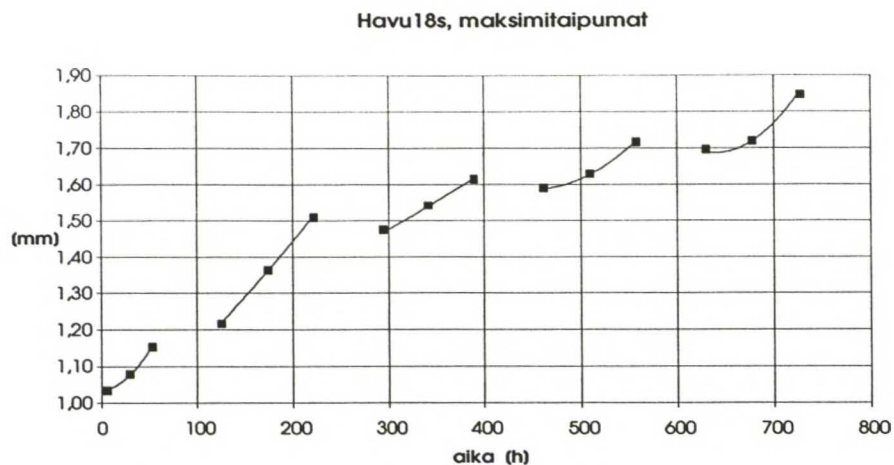
Kuva 9.6. Koivuvanerin 20s maksimitaipumat ajan funktiona



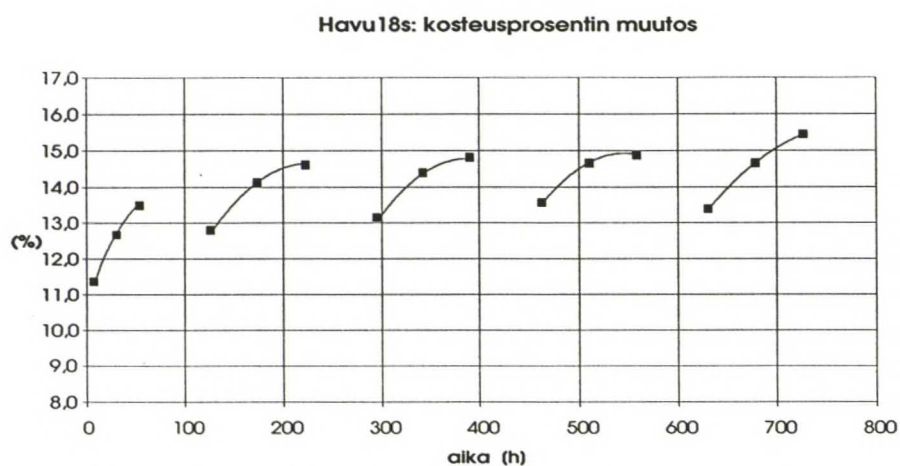
Kuva 9.7. Koekappaleiden ko20s maksimitaipumia vastaavat kosteusprosentit.



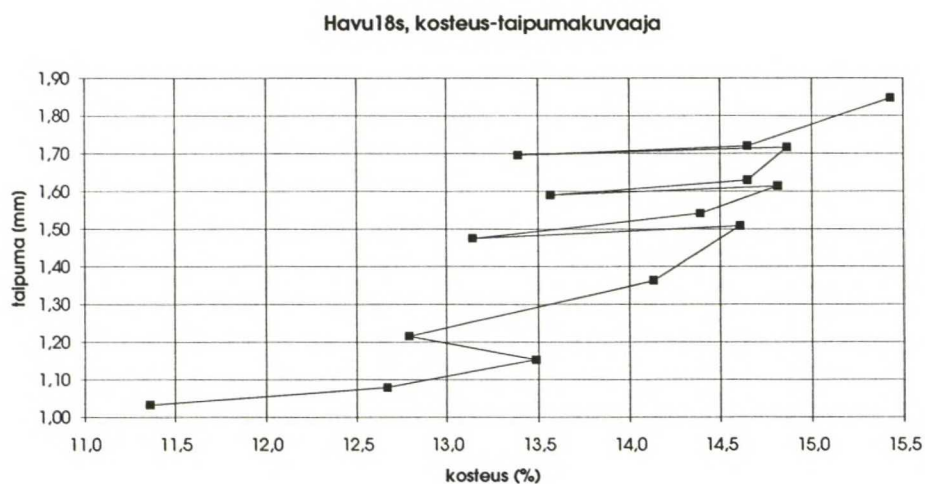
Kuva 9.8. Koivu20s:n kosteuden suhde taipumiin.



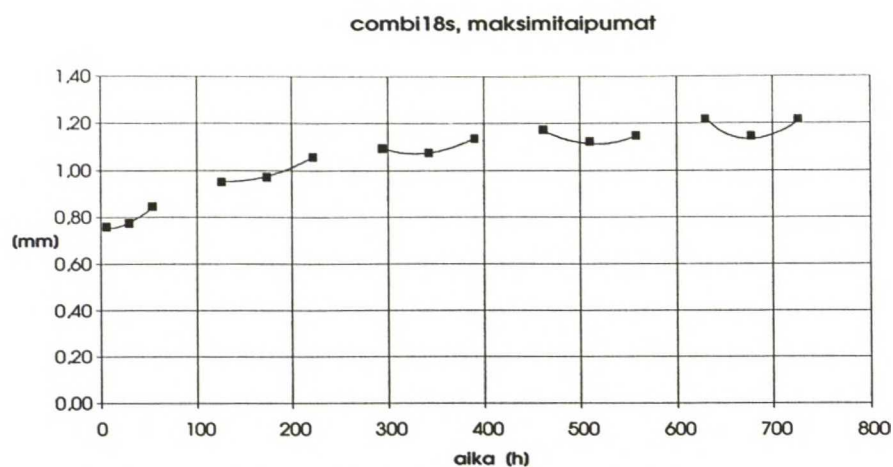
Kuva 9.9. Havuvanerin 18s maksimitaipumat ajan funktiona.



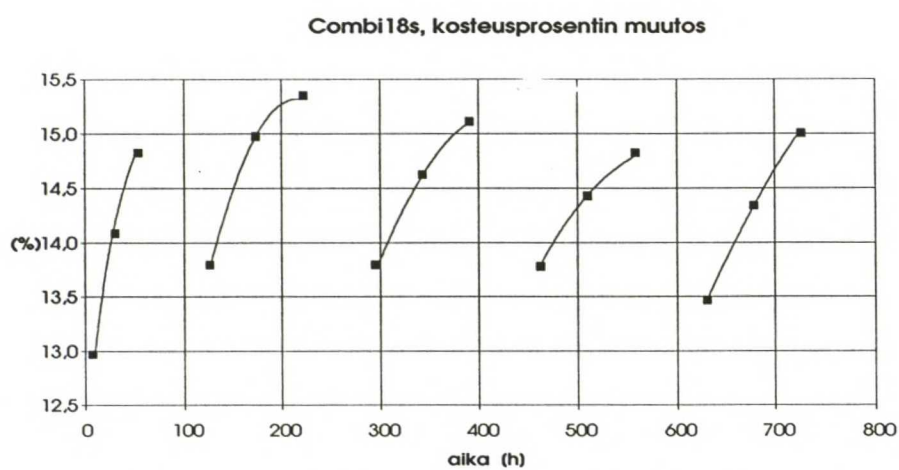
Kuva 9.10. Ha18s maksimitaipumia vastaavat kosteusprosentit.



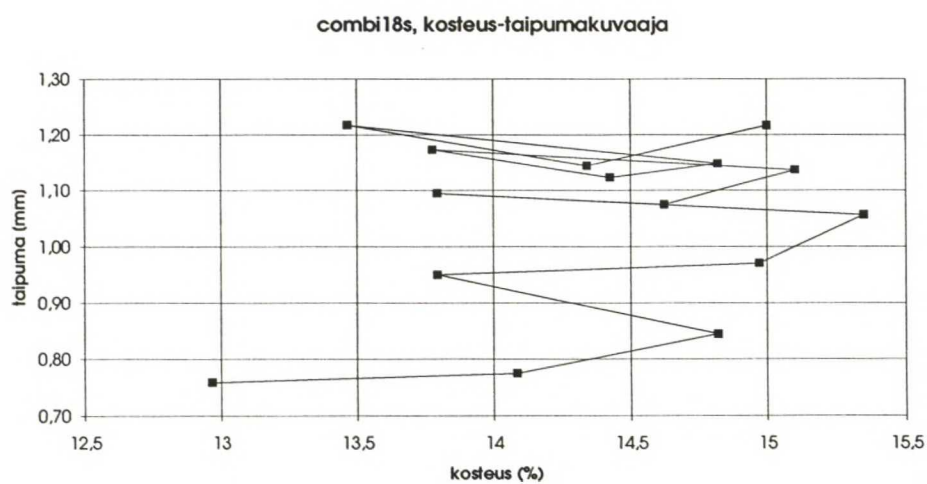
Kuva 9.11. Havu18s:n kosteuden suhde taipumiin.



Kuva 9.12. Combi18s:n maksimitaipumat ajan funktiona.



Kuva 9.13. Combi18s maksimitaipumia vastaavat kosteusprosentit.



Kuva 9.14. Combi18s:n kosteus-taipumakuvaaja.

20 mm:n koivuvanerin taipumien ja kosteuden välistä suhdetta on tarkasteltu kuvissa 9.6-9.8. Ennen ensimmäistä kuormitusta vanerin alkutaipuma oli -0,06 mm, joka johtui vanerille suoritetusta kostutuksesta. Koesarjan aikana vanerin taipuma kasvoi noin 1,5 kertaiseksi, 0,73 mm:stä 1,13 mm:iin. Kosteuden kehittymisen perusteella voidaan arvioida, että mikäli kostus olisi ollut rankempi, olisi seurauksena ollut taipuman voimakas kasvu.

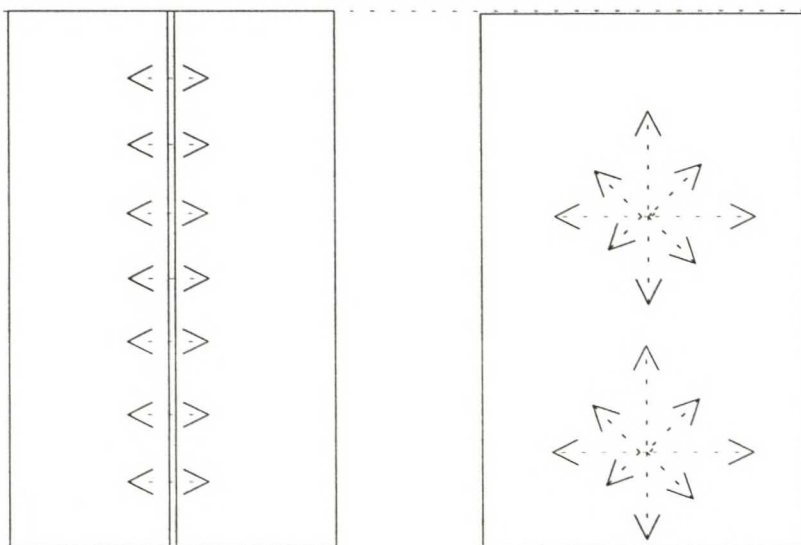
Kuvissa 9.9-9.11 on esitetty 18 mm:n havuvanerin taipumien ja kosteuden suhdetta. Havuvanerilla oli ennen ensimmäistä kuormitusta alkutaipuma -0,15 mm. Vanerin taipuma kasvoi koesarjan aikana 1,03 mm:stä 1,85 mm:iin eli noin 1,8 kertaiseksi. Kosteus-taipumakuvan perusteella vanerin taipuminen ja kostuminen jatkuisi voimakkaana kuormitus syklien kasvaessa.

18 mm:n sekavanerin kosteus-taipumasuhdetta on selvitetty kuvissa 9.12-9.14. Vanerilla oli ennen ensimmäistä kuormitusta -0,09 mm:n alkutaipuma. Koesarjan aikana sekavanerin taipuma kasvoi noin 1,5 kertaiseksi. Taipumien ja kosteusprosentin kasvu koesarjan aikana hidastui, ja kasvoi viimeisellä koeviikolla vain hieman. Myös kosteus-taipumakuvan perusteella nähdään muista poikkeava käyttäytyminen.

9.3 VEDENIMUKOKEET

Kokeessa, jossa tutkittiin hiertämisen vaikutusta vanerin veden imeytymiseen kahden näytteen pinta oli jätetty vertailun vuoksi ehjäksi, kahta koekappaletta oli hierretty porakoneeseen kytketyllä hiertimellä viisi kierrosta/päivä ja kahta hierrettiin 10 kierrosta/päivä. Vanerien hionnalla ei tässä tapauksessa ollut veden imeytymistä lisäävää merkitystä. Syyksi arveltiin fenolifilmipinnan vaikutuksen ulottumisen niin syvälle, että tämän suuruisella hionnalla ei ollut vaikutusta pinnan vedenimukykyyn. Tässä tapauksessa näyttää jopa siltä, että hionta olisi pienentänyt veden imeytymistä.

Toisessa vedenimukokeessa yhden näytteen pinta jätettiin vertailun vuoksi ehjäksi, muiden pinta rikottiin. Toiseen koekappaleeseen tehtiin pinnan suuntainen sahaus noin 1 mm:n syvyydelle sahausjäljen leveyden ollessa noin 2 mm. Sahaus ulottui koko näytteen pinnan yli. Kolmanteen näytteeseen tehtiin kaksi edellisen kaltaista sahausta. Näytteisiin neljä-kuusi iskettiin jokaiseen yksi naulan reikä, reikien ulottuessa koekappaleen puoliväliin. Reikien teossa käytettiin kolmea erikokoista naulaa. Ehjäpintainen vaneri imi vähiten vettä. Koekappaleet, joissa oli naulan reikä imivät selvästi enemmän vettä kuin näytteet, joihin on sahattu uria.



Kuva 9.15. Veden imeytyminen vanereissa, joissa ensimmäisessä on sahattu ura ja toisessa naulan reikä.

10 PÄÄTELMÄT

Työn tavoitteena oli kehittää koelaite, jonka avulla voidaan tutkia vanerin käyttäytymistä toistuvissa valuissa. Toistuvassa käytössä muottivanerissa tapahtuu jäykkyyden pienenemistä ja taipumien kasvua. Normaalisti suurmuotit mitoitetaan valupaineelle 40 kN/m².

Koelaitteisto toimi suunnitelmien mukaisesti, ja halutun pituiset koesarjat voitiin tehdä. Koelaitteiston suurin ongelma oli vanerien kostuttaminen. Kokeissa käytettiin valupainetta 34 kN/m² tai 40 kN/m². Nyt suoritetuissa valukokeissa kosteuspitoisuus nousi 15-23 valusimulaation jälkeen noin 16 %:iin, kun todellisissa valuissa on mitattu kuuden valun jälkeen koivuvanerilla 17 %:n ja sekavanerilla 18 %:n kosteuspitoisuuksia. Kahdentoista valukerran jälkeen on koivuvanerin kosteudeksi saatu jo 23 %, ja sekavanerin 22 %. Vanerien kosteus jäi näissä kokeissa alhaisemmaksi kuin vastaavissa todellisissa valuolosuhteissa. Tämän takia vanerien taipumat olivat myös pienempiä kuin mitä ne olisivat olleet, jos niiden kosteus olisi ollut suurempi.

Taipumien kehittyminen voidaan jakaa kahteen vaiheeseen:

1. Käyristymisvaihe, jolloin vanerien kosteuden muutoksista johtuva käyristyminen on nopeampaa kuin viruminen.
2. Virumisvaihe, kun vanerit ovat sisältä kostuneet riittävästi.

Ensimmäisessä koesarjassa 20 mm:n koivuvanereiden taipumat kuormituksessa, mitattuna 250 mm:n, kasvoivat viidellätoista kuormitusyhtäyksellä 1,2 mm:iin. Filmipintaisten 24 mm:n koivuvanerin keskimääräinen taipuma viidentoista syklin koestuksessa nousi 0,7 mm:iin. Vanerien jänneväli oli 300 mm.

Vanerien kostumista todellisissa valuissa lisää naulan reiät ja pinnan hyvyys. Tätä tutkittiin toisessa koesarjassa tutkittiin kahta erilailla käsiteltyä 24 mm:n filmipintaista koivuvaneria, joista toiseen oli sahattu pituussuuntaisia uria ja toiseen oli porattu reikiä. Vanereiden, joissa oli kaksi pituussuuntaista uraa, taipuma paineen alaisena kasvoi kahdellakymmenellä viidellä kuormitusyhtäyksellä 0,7 mm:iin. Koekappaleiden, joihin oli porattu reikiä taipumat rasituksessa lisääntyivät kahdenkymmenen viiden syklin jälkeen 0,9 mm:iin.

Kolmannessa koesarjassa tutkittavat vanerit olivat 18 mm:n koivu-, havu-, combivanereita. Kaikkia tässä koesarjassa tutkittuja koekappaleita kuormitettiin kaksikymmentä kolme kuormitus sykliä. Koivuvanereiden taipumat kuormituksessa nousivat pintaviilut jännevälin suuntaan kuormitetuilla koekappaleilla 0,8 mm:iin ja pintaviilut jänneväliä vastaa kuormitetuilla näytteillä 1,0 mm:iin. Havuvanereiden taipumat kuormituksen aikana kasvoivat pintaviilut jännevälin suuntaan kuormitetuilla koekappaleilla 1,9 mm:iin ja pintaviilut jänneväliä vastaan koestetuilla näytteillä taipumat rasituksessa nousivat 1,5 mm:iin. Sekavanereiden taipumat kuormituksen alaisina kasvoivat pintaviilut jännevälin suuntaan kuormitetuilla koekappaleilla 1,2 mm:iin ja pintaviilut jänneväliä vastaa koestetuilla näytteillä taipumat rasituksessa nousivat 1,5 mm:iin. Kolmannessa koesarjassa 18 mm:n koivuvanerin taipumat olivat pienimmät, toiseksi pienimmät taipumat olivat pintaviilut syynsuuntaan kuormitetulla sekavanerilla, suurimmat taipumat olivat pintaviilut syynsuuntaan kostutetulla havuvanerilla. Koivu- ja sekavanereilla pienimmät taipumat tulivat vanereilla, joita kuormitettiin pintaviilut jännevälin suuntaan, havuvanerilla taas pintaviilut poikittain kuormitettu taipui vähemmän.

Parhaimmaksi vanerilaaduksi osoittautui koivuvaneri, jota kuormitetaan pintaviilujen syyt jännevälin suuntaisesti. Seuraavaksi parhaat ominaisuudet olivat sekavanerilla, havuvanerin taipumat kasvoivat suurimmiksi.

Pintaviilujen syiden suunnan merkitys vaihteli eri vanerilaaduilla. Koivu- ja sekavanereilla taipumat pintaviilujen syiden suuntaan kuormitetuilla koekappaleilla olivat pienempiä kuin pintaviilujen syiden suuntaa vastaan kuormitetuilla näytteillä. Havuvanereilla taas pintaviilujen syiden suuntaa vastaan kuormitettujen näytteiden taipumat olivat pienemmät.

Kokeiden tulosten mukaan vanerin pinnoituksella ja reunasuojauksella on suuri merkitys vanerien kostumiseen ja sitä kautta taipumien kasvuun. Naulanreikiä sisältävät koekappaleet viruivat enemmän kuin näytteet, joihin oli sahattu pituussuuntaisia uria. Vanereihin syntyneet reiät ja pinnoituksen rikkoontumiset tulisi paikata, jotta muotti säilyisi mahdollisimman pitkään käyttökelpoisena.

Siitä huolimatta, että todellisissa valuissa on tekijöitä, joita valua jäljittelevissä kokeissa ei voitu ottaa huomioon, saatujen tulosten perusteella voidaan arvioida erilaisten vanerilaatujen keskinäisiä ominaisuuksia. Tässä tutkimuksessa saadut tulokset vastaavat melko hyvin kirjallisuudessa olevia arvioita eri vanerilaatujen käyttäytymiselle

muottivanerina. Lisäksi näissä kokeissa vanereiden kosteuspitoisuus jäi alhaisemmaksi kuin oikeissa valuissa.

Näiden kokeiden tulosten perusteella sekä koivu- että sekavanerit ovat käyttökelpoisia valumuoteissa. Niiden keskinäisen paremmuuden arviointiin vaikuttaa hinta, sillä vaikka koivuvanerilla on parempi kestävyys valukokeissa, sen sekavaneria korkeampi hinta heikentää sen kilpailukykyä.

11 EHDOTUKSIA JATKOTUTKIMUKSIKSI

Taipumien kehitystä tulisi tutkia todellisissa valukohteissa, jossa suoritetaan riittävän monia valuja, jotta saataisiin selville vanerien jäykkyyssominaisuuksien huononeminen. Valukertoja tulisi olla vähintään kaksikymmentä valua ja riittävän tiheällä valurytmillä, mieluiten joka arkipäivä, jotta vanerit eivät pääsisi kuivumaan liikaa lepojaksojen aikana.

Taipumien kehitystä voisi mitata tehtaassa tai työmaalla. Tämän voisi tehdä siten, että taipumien kasvu käytäisiin mittaamassa esimerkiksi kerran viikossa.

Kostumisen vaikutus olisi selvitettävä todellisissa valuolosuhteissa, jotta saataisiin selville kuinka suureksi kosteuspitoisuus nousee, ja miten se vaikuttaa jäykkyyssominaisuuksiin. Samalla olisi selvitettävä muottiin kohdistuvien mekaanisten rasitusten merkitys, sillä muottien käsittely ja puhdistaminen aiheuttaa muottipinnan rikkoutumista.

Erilaisten pintamateriaalien vaikutusta muottivanereiden kestävyYTEEN tulisi tutkia. Nykyään yleisesti käytetyn fenolihartsipinnoitteen lisäksi voitaisiin tutkia uusia pinnoitemateriaaleja, kuten esimerkiksi erilaisten muovipinnoitteiden vaikutus vanerin taivutus- ja kulutuskestävyyteen.

Koelaitteistoa tulisi parantaa siten, että päästäisiin lähemmäksi todellisia valuolosuhteita. Vanerien kostutus olisi saatava nopeammaksi, jotta voitaisiin ottaa huomioon paineellisen veden tunkeutuminen vaneriin.

12 YHTEENVETO

Työssä tutkittiin kokeellisesti muottivanerin taipumien kasvua toistuvissa valuissa. Toistuvassa käytössä muottivanerissa tapahtuu pehmenemistä ja jäykkyyden pienenemistä. Muotin suurin yksittäinen rasituksen aiheuttaja on normaalisti valupaine. Yleisesti suurmuottien mitoituksessa käytetty valupaine on 40 kN/m^2 . Vanerien pinnan huononemista aiheuttaa myös kova mekaaninen rasitus muotteja puhdistettaessa. Myös lämpötilojen vaihtelut vaikuttavat muottivanereihin. Betonin sitoutuessa kehittyy lämpöä, joka voi nousta $+ 40 \text{ }^\circ\text{C}$:een. Talvella valettaessa lämpötila voi nousta huomattavasti korkeammaksi, lankalämmitys saattaa nostaa muotin sisäpinnan lämpötilan jopa $+ 80 \text{ }^\circ\text{C}$:een, samaan aikaan kun ulkolämpötila voi olla $- 20 \text{ }^\circ\text{C}$:sta.

Tutkimuksessa kehitettiin koelaitteisto jäljittelemään niitä olosuhteita, joihin muottivaneri joutuu todellisessa valutilanteessa. Todellisissa valuolosuhteissa on vaikea tehdä toistuvia kokeita käyttäen betonimassaa, joten kokeet suoritettiin simuloimalla valuolosuhteita. Kokeissa haluttu paine saatiin hydrostaattisella vedenpaineella. Kokeita suoritettiin arkipäivisin (5 vrk). Yön ajan ja viikonloppuisin (2 vrk) koekappaleet olivat lepotilassa ja saivat kuivua. Kuormituskokeissa seurattiin vanereiden taipumien ja kosteuden muuttumista $40 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa ja 34 kN/m^2 tai 40 kN/m^2 valupaineessa. Kokeissa käytettiin koivu-, seka- ja havuvanereita ilman pinnoitusta sekä filmipintaista koivuvaneria. Valukertojen määrä vaihteli eri koesarjoilla viidestätoista kahteenkymmeneen viiteen valuuun.

Valua jäljittelevien kokeiden esikokeissa ja kahdessa ensimmäisessä koesarjassa oli maksimipaine 40 kN/m^2 ja käytetty lämpötila $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Tutkittavat vanerit näissä kokeissa olivat 15 mm koivuvaneri, 18 mm havuvaneri, 20 mm koivuvaneri, jotka olivat pinnoittamattomia, sekä 24 mm fenolifilmipintainen koivuvaneri. Kolmannessa koesarjassa oli käytetty paine 34 kN/m^2 ja koelämpötila $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Tutkittavat vanerit olivat 18 mm:n koivu-, havu-, combivanereita.

Esikokeiden tulosten perusteella mittausjärjestelyihin tehtiin joitakin muutoksia. Vanerinäytteiden reunat käsiteltiin silikonilla, jotta veden imeytyminen reunoista voitiin estää. Koekappaleiden taipumat mitattiin aamulla myös ennen niiden laittamista kostutukseen. Varsinaisiin koesarjoihin otettiin myös mukaan koekappaleiden painon muutosten seuranta. Koekappaleiden painot mitattiin aamulla ennen kostutusta, kostutuksen jälkeen, ja iltapäivisin kun koekappaleet oli kuormitettu.

Ensimmäisessä koesarjassa kokeita tehtiin viisitoista kuormitus sykliä, toisessa kaksikymmentä viisi ja kolmannessa kaksikymmentä kolme sykliä.

Kaikissa kolmessa koesarjassa sekä esikokeissa näytteet olivat öisin ja viikonloppuisin lepotilassa ja saivat kuivua.

Ensimmäisessä koesarjassa 20 mm:n koivuvanereiden taipumat kuormituksessa kasvoivat viidellätoista kuormitus syklillä 1,2 mm:iin. Filmipintaisten 24 mm:n koivuvanerin keskimääräinen taipuma viidentoista syklin koestuksessa nousi 0,7 mm:iin.

Toisessa koesarjassa tutkittiin kahta erilailla käsiteltyä 24 mm:n filmipintaista koivuvaneria, joista toiseen oli sahattu pituussuuntaisia uria ja toiseen oli porattu reikiä. Vanereiden, joissa oli kaksi pituussuuntaista uraa, taipuma paineen alaisena kasvoi kahdellakymmenellä viidellä kuormitus syklillä 0,7 mm:iin. Koekappaleiden, joihin oli porattu reikiä taipumat lisääntyivät kahdenkymmenen viiden syklin jälkeen 0,9 mm:iin.

Kolmannessa koesarjassa tutkittavat vanerit olivat 18 mm:n koivu-, havu-, combivanereita. Kaikkia tässä koesarjassa tutkittuja koekappaleita kuormitettiin kaksikymmentä kolme kuormitus sykliä. Koivuvanereiden taipumat kuormituksessa nousivat pintaviilut jännevälin suuntaan kuormitetuilla koekappaleilla 0,8 mm:iin ja pintaviilut jänneväliä vastaa kuormitetuilla näytteillä 1,0 mm:iin. Havuvanereiden taipumat kuormituksen aikana kasvoivat pintaviilut jännevälin suuntaan kuormitetuilla koekappaleilla 1,9 mm:iin ja pintaviilut jänneväliä vastaan koestetuilla näytteillä taipumat rasituksessa nousivat 1,5 mm:iin. Sekavanereiden taipumat kuormituksen alaisina kasvoivat pintaviilut jännevälin suuntaan kuormitetuilla koekappaleilla 1,2 mm:iin ja pintaviilut jänneväliä vastaa koestetuilla näytteillä taipumat nousivat 1,5 mm:iin.

Kolmannessa koesarjassa 18 mm:n koivuvanerin taipumat olivat pienimmät, toiseksi pienimmät taipumat olivat pintaviilut syynsuuntaan kuormitetulla sekavanerilla, suurimmat taipumat olivat pintaviilut syynsuuntaan kostutetulla havuvanerilla. Koivu- ja sekavanereilla pienimmät taipumat tulivat vanereilla, joita kuormitettiin pintaviilut jännevälin suuntaan, havuvanerilla taas pintaviilut poikittain kuormitettu taipui vähemmän.

Parhaimmaksi vanerilaaduksi osoittautui koivuvaneri, jota kuormitetaan pintaviilujen syyt jännevälän suuntaisesti. Seuraavaksi parhaat ominaisuudet olivat sekavanerilla, havuvanerin taipumat kasvoivat suurimmiksi.

Pintaviilujen syiden suunnan merkitys vaihteli eri vanerilaaduilla. Koivu- ja sekavanereilla taipumat pintaviilujen syiden suuntaan kuormitetuilla koekappaleilla oli pienempi kuin pintaviilujen syiden suuntaa vastaan kuormitetuilla näytteillä. Havuvanereilla taas pintaviilujen syiden suuntaa vastaan kuormitettujen näytteiden taipumat olivat pienemmät.

Vanerien kostumisnopeus oli kaikilla pinnoittamattomilla vanerityypeillä melko suuri. Valua jäljittelevissä kokeissa kosteus kasvoi noin 6-11 %:n lähtötilanteesta 15-16 %:iin. Ehjän filmipintaisen vanerin kosteus kohosi vain 11,5 %:iin. Niiden filmipintaisten koekappaleiden kosteus, joiden pintaan oli sahattu uria tai joihin oli porattu reikiä, kosteuspitaisuus nousi pinnoittamattomien vanereiden tasolle.

Koelaitteiston suurin ongelma oli vanerien kosteustaso. Nyt suoritetuissa valukokeissa kosteuspitaisuus kasvoi enimmillään noin 16 %:iin, kun todellisissa valuissa kosteus nousee yli 20 %:n.

Valukokeiden lisäksi tehtiin kaksi vedenimukoetta, joilla selvitettiin vaneriin tehdyn hionnan, sahattujen urien ja reikien vaikutusta vedenimikykyyn. Vanerien hionnalla ei todettu veden imeytymistä lisäävää merkitystä. Syyksi arveltiin fenolifilmipinnan vaikutuksen ulottumisen niin syväälle, että käytetyn suuruisella hionnalla ei ollut vaikutusta pinnan vedenimukykyyn. Toisessa vedenimukokeessa osaan vanereista oli sahattu pinnan suuntaisia uria ja osaan tehtiin naulan reikiä. Koekappaleet, joissa oli naulan reikiä imivät selvästi enemmän vettä kuin näytteet, joihin on sahattu uria. Valua jäljittelevissä kokeissa näytteet, joihin oli sahattu uria imivät enemmän vettä kuin naulan reikiä sisältävät koekappaleet. Vedenimukokeissa koekappaleet olivat jatkuvassa vesikontaktissa, kun taas valukokeissa kostutus oli vain puolen tuntia ennen koetta ja kokeen ajan.

Suoritettujen kokeiden tulosten perusteella sekä koivu- että sekavanerit ovat käyttökelpoisia valumuoteissa. Taipumien kasvun suuruuteen vaikutti koekappaleiden vanerilaatu ja pintaviilujen syyn suunta. Niiden keskinäisen paremmuuden arviointiin vaikuttaa hinta, sillä vaikka koivuvanerilla on parempi kestävyys valukokeissa, sen sekavaneria korkeampi hinta heikentää sen kilpailukykyä.

KIRJALLISUUTTA

- /1/ Betonitekniiikan oppikirja. Suomen betoniyhdistys r.y. by 201, 1985.
- /2/ Handbook of Finnish Plywood. Finnish Plywood International. 1991. 48 s.
- /3/ Kokki, Koskinen, Rinne. Puurakenteet 2, Puulevyt. Rakentajain kustannus oy. Helsinki 1986.
- /4/ Niskanen Erkki. On the Strength and Elasticity Characteristics of Finnish Structural Birch Plywood. Valtion teknillinen tutkimuslaitos. 1963.
- /5/ Nurmi Seppo. Filmipintaisen vanerin kostuminen ja kuivuminen, erikoistyö. 1978. 39 s.
- /6/ Parikka Hannu. Toistuvan käytön vaikutus muottivanerien ominaisuuksiin, diplomityö. 1980. 115 s.
- /7/ Pennala Erkki. Puuperäisten kerroslevyjen teoreettisista kimmo- ja lujuusominaisuuksista. Teknillinen Korkeakoulu. 1979. 47s.
- /8/ Rautakorpi Heikki. An analysis of constructional plywood. Valtion teknillinen tutkimuslaitos. Helsinki 1971. 81 s. Julkaisu 165.
- /9/ Rautakorpi Heikki. Vaneri kerroksellisena rakenteena. valtion teknillinen tutkimuslaitos. Helsinki 1969. 73 s. Tiedotus. Sarja 3-rakennus 138.
- /10/ RIL 106. Puurakenteet. Suomen Rakennusinsinöörien liitto. Helsinki 1975. 366 s.
- /11/ RIL 120-1986. Puurakenteiden suunnitteluohjeet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. 1986. 145 s.
- /12/ RIL 162-1. Puurakenteet 1. Suomen Rakennusinsinöörien liitto. Helsinki 1987. 248 s.
- /13/ SFS 2417. Suomalainen koivuvaneri. Suomen standardisoimisliitto. 1991.
- /14/ SFS 4091. Suomalainen sekavaneri. Suomen standardisoimisliitto. 1988.
- /15/ SFS 4092. Suomalainen havupuuvaneri. Suomen standardisoimisliitto. 1988.
- /16/ Vanhanen Pekka. Betonirakenteiden pystymuottien valupaine ja muotin muodonmuutokset valun aikana, diplomityö. 1980.